

Ville Kankaanpää

# AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMISEN MAHDOLLISUUDET

Sähkötekniikan koulutusohjelma  
2016

# AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMISEN MAHDOLLISUUDET

Kankaanpää, Ville  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Toukokuu 2016  
Ohjaaja: Tuomela, Jorma  
Sivumäärä: 53  
Liitteitä: 2

Asiasanat: Aurinkoenergia, aurinkosähkö, aurinkolämpö, aurinkosähköjärjestelmät, aurinkolämpöjärjestelmät

---

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia erilaisia mahdollisuuksia aurinkoenergian hyödyntämiseen. Työn toimeksiantajana toimi Sähköasennus Jorpek Oy. Työ selvittää lukijalle erilaisia aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien malleja ja niiden käyttö-tarkoituksia.

Työssä perehdyttiin aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmiin sekä aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun ja siihen mitä tulee ottaa huomioon kun aurinkosähköjärjestelmä liitetään sähköverkkoon. Tarkoitus on myös selvittää mitä kaikkea tulisi ottaa huomioon kun ajattelee aurinkosähköjärjestelmän hankkimista. Työssä perehdyttiin myös prosessiin liittyviin standardeihin ja asetuksiin.

## POSSIBILITIES OF UTILIZING SOLAR ENERGY

Kankaanpää, Ville

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

May 2016

Supervisor: Tuomela, Jorma

Number of pages: 53

Appendices: 2

Keywords: Solar energy, photovoltage, solar heating, photovoltage system, solar thermal system

---

The purpose of this thesis was to study different possibilities of utilizing solar energy. The thesis was commissioned by Sähköasennus Jorpek Oy. The goal was to find out a variety of solar photovoltaic and solar thermal system models and their uses.

This thesis concentrates on solar photovoltaic and solar thermal systems and photovoltaic system design and on what should be taken into account when photovoltaic system is connected to the power grid. The aim is also to find out what should be taken into account when considering the acquisition of a photovoltaic system. Standards and regulations connected to the process were also studied.

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	AURINKO ENERGIAN LÄHTEENÄ.....	6
2.1	Auringon rakenne ja kierto .....	6
2.2	Auringon säteily .....	7
2.3	Aurinkoenergia .....	7
3	AURINKOSÄHKÖ.....	8
3.1	Aurinkopaneeli.....	8
3.2	Akullinen aurinkosähköjärjestelmä .....	11
3.3	Verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä.....	14
3.4	Laitteet .....	16
3.4.1	Akusto .....	16
3.4.2	Lataussäädin .....	19
3.4.3	Vaihtosuuntaaja (Invertteri).....	21
3.4.4	Asennustelineet.....	25
4	AURINKOLÄMPÖ.....	27
4.1	Aurinkokeräin .....	28
4.2	Tyhjiöputkikeräin.....	29
4.3	Tasokeräin.....	32
4.4	Kuumailmakeräin.....	33
5	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU .....	35
5.1	Järjestelmän valinta.....	35
5.2	Lait, asetukset ja standardit.....	36
5.3	Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen .....	38
5.4	Aurinkosähköjärjestelmän sijoittaminen .....	39
5.5	Takaisinmaksuaika.....	41
6	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN SÄHKÖVERKKOON.....	43
6.1	Luvat, asiakirjat ja sopimukset .....	45
6.2	Mittaus .....	47
6.3	Kustannukset.....	48
6.3.1	Liittymiskustannukset.....	48
6.3.2	Verkkopalvelumaksu .....	49
6.3.3	Mittauskustannukset .....	49
7	YHTEENVETO .....	50
	LÄHTEET .....	51
	LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan mahdollisia tapoja hyödyntää aurinkoenergiaa. Uusiutuvan energian käyttäminen on lisääntynyt ja tulevaisuudessa tulee lisääntymään yhä enemmän.

Opinnäytetyön aihe täsmentyi prosessin aikana ja lopulta päädyin tekemään sen aurinkoenergian hyödyntämisestä. Aiheen valintaan vaikutti eniten esimieheni Sähköasennus Jorpek Oy:n toimitusjohtajan Pentti Hakkaraisen ehdotus siitä, että tekisin opinnäytetyön liittyen aurinkoenergian erilaisiin hyödyntämismahdollisuuksiin.

Työn alku käsittelee teoriaa Auringosta ja siihen liittyvistä asioista kuten esimerkiksi Auringon kierrosta ja säteilystä. Lisäksi esittelen erilaisia mahdollisuuksia, esimerkiksi akkukäyttöisen aurinkosähköjärjestelmän, verkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän ja erilaisia malleja aurinkokeräimistä.

Aurinkoenergian hyödyntämisen jälkeen kerron aurinkosähköjärjestelmän suunnittelusta. Tässä opinnäytetyössä pääpaino on 6kW verkkoon kytkettävässä aurinkosähköjärjestelmässä. Suunnittelun jälkeen perehdytään verkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän verkkoon kytkemiseen ja siihen liittyviin lupasioihin ja asiakirjoihin.

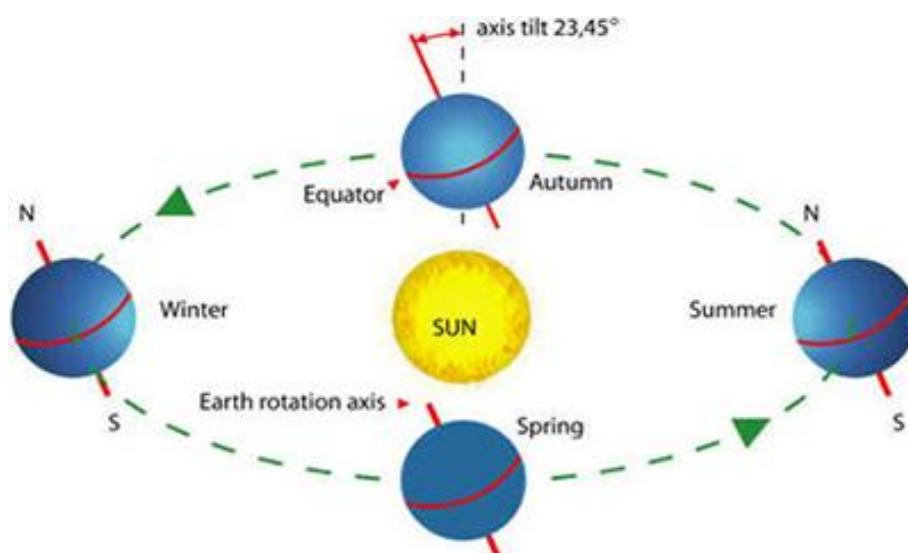
Lopuksi esitän yhteenvedon, jossa niputan omia ajatuksiani aurinkosähköjärjestelmistä ja niiden hyödyntämisestä nyt ja tulevaisuudessa sekä aurinkoenergian tulevaisuuden näkymiä.

## 2 AURINKO ENERGIAN LÄHTEENÄ

### 2.1 Auringon rakenne ja kierto

Auringon ytimessä syntyy sen tuottama energia. Ytimen säde on neljäsosa Auringon säteestä (Ilmatieteenlaitos). Ytimen lämpötila on noin 15 miljoonaa astetta (Korteniemi 2001). Ytimessä lämpötila eli hiukkasten liike-energia on niin suuri, että vety fuusioituu heliumiksi. Joka sekunti auringossa fuusioituu 600 miljoonaa tonnia vetyä 596 miljoonaksi tonniksi heliumia. Tuosta energiaksi muuttuu noin neljä miljoonaa tonnia massaa. (Ilmatieteenlaitos) Auringon massa pienenee siis koko ajan. Ytimessä fuusioituva energiaksi muuttuva vety matkaa liike-energiana ja gammasäteilynä Auringon pinnalle. Matkalla se kuitenkin muuttuu vähäenergisemmäksi. Pinnalle päästyään se säteilee avaruuteen pääasiassa valona. (Korteniemi 2001)

Planeetat kiertävät aurinkoa ellipsin muotoisella radalla, jonka toisessa polttopisteessä on Aurinko (Kuva 1). Maapallo on kauimpana auringosta kesäkuussa ja lähinnä aurinkoa tammikuussa. Vuodenaikojen vaihtelut aiheuttaa maapallon pyörimisakseli. Maapallon akselikulma on noin  $23,45^\circ$ . (Suntekno, Aurinkoenergia 2012)



Kuva 1. Maapallon kierto auringon ympäri. (Utah education network. 2013)

## 2.2 Auringon säteily

Ilmakehän yläosissa auringon säteilyä on keskimäärin  $1368 \text{ W/m}^2$ . Tätä kutsutaan aurinkovakioksi. Säteilyn määrä vaihtelee jonkin verran eri vuodenaikoina. Tämä johtuu maan radan soikeudesta. Säteily on suurimmillaan tammikuussa eli noin  $1410 \text{ W/m}^2$  ja pienimmillään kesäkuussa, noin  $1320 \text{ W/m}^2$ . Vaihtelu keskiarvoon verrattuna on noin 3,3 prosenttia. Auringon aktiivisuus vaikuttaa myös olennaisesti säteilyn määrään. (Suntekno, Aurinkoenergia 2012)

Auringon säteily sisältää valtavasti energiaa. Maan pinnalla esimerkiksi auringon säteilyn teho on noin 170 000 TW eli noin 170 000 000 000 000 W. Tästä määrästä ei kuitenkaan voida hyödyntää kuin vähäinen osa. (energia.fi) Aurinkoenergiaa hyödynnetään kahdella tavalla: lämmityksessä ja sähköntuotannossa. Auringosta saapuu jatkuvasti noin 10 000 kertaa enemmän energiaa kuin mitä koko ihmiskunta tarvitsee. (Suntekno, Aurinkoenergia 2012)

Maan pinnalle tulevan säteilyn määrää pienentävät ilmakehässä olevat kaasut, jotka absorboivat auringon säteilyä. Ilmakehän yläosassa tulevan säteilyn voimakkuus on  $1368 \text{ W/m}^2$ . Suurin säteilymäärä maan pinnalla kirkkaalla säällä on korkeintaan  $800\text{--}1000 \text{ W/m}^2$  eli noin 60 prosenttia aurinkovakiosta. Säteily heikkenee lähes 40 prosenttia kulkiessaan ilmakehän läpi. Pilvet heijastavat auringonsäteilyä ja muuttavat säteilyn suuntaa. Tämän vuoksi aurinkoenergiaa saadaan hyvin myös melko pilviselläkin ilmalla, jos pilvikerros ei ole kovin paksu. (Suntekno, Aurinkoenergia 2012)

## 2.3 Aurinkoenergia

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää sekä passiivisesti että aktiivisesti. Passiivisesti hyödyntämällä auringon valoa ja lämpöä käytetään suoraan eli ilman erillisiä laitteita. Aktiivisessa hyödyntämisessä auringonsäteilyä muunnetaan sähköksi ja lämmöksi. Sähköksi se muunnetaan aurinkopaneeleilla ja lämmöksi aurinkokeräimillä. Säteilyn määrästä voidaan muuttaa noin 15 prosenttia sähköksi aurinkopaneeleilla. Aurinkokeräimillä noin 25-35 prosenttia muuntuu lämmöksi.

### 3 AURINKOSÄHKÖ

Auringon säteilyenergian hyödyntäminen on keskeinen osa aurinkosähkön tuottamisesta. Säteily koostuu fotoneista. Ne kuljettavat auringon säteilyenergiaa. Fotonien osuessa aurinkokennoihin, luovuttavat ne energiansa kennojen materiaalin elektroneille. Fotoneilta energiansa saaneet elektronit muodostavat aurinkokennojen virtajohtimiin sähkövirran. (Motivan www-sivut 2014)

Hajautettu sähköntuotanto on lisääntynyt ja tulee lisääntymään tulevaisuudessa asuin- ja liikekiinteistöissä. Tämä johtuu energian hinnan noususta. Edellä mainituissa kiinteistöissä käytettävät aurinkosähköjärjestelmät ovat usein pienehköjä ja ne ovat usein helposti liitettävissä sähköverkkoon. Aurinkosähköjärjestelmien sähköntuotto vaihtelee erittäin paljon riippuen esimerkiksi vuodenajoista ja sääolosuhteista. Tämän takia aurinkosähköllä katetaan yleensä vain osa kiinteistön sähköntarpeista. (ST 55.33 2013, 1)

#### 3.1 Aurinkopaneeli

Vuonna 1839 aurinkosähköilmiö huomattiin ensimmäisen kerran. Puolijohdetekniikan viimeisen 20 vuoden aikainen kehitys on tuonut aluksi avaruustekniikassa hyödynnetyt kennot laajaan käyttöön. Aurinkopaneeli kehitettiin alun perin antamaan virtaa satelliiteille.

Puolijohdemateriaaleista valmistettavat aurinkokennot eristävät normaaliolosuhteissa, mutta energian osuessa niihin, niistä tulee sähköä johtavia. Tavallisimmin aurinkokennoissa käytetään raaka-aineena piitä (Si), mutta tulevaisuudessa voi tulla myös muita materiaaleja. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi 2008, 120)

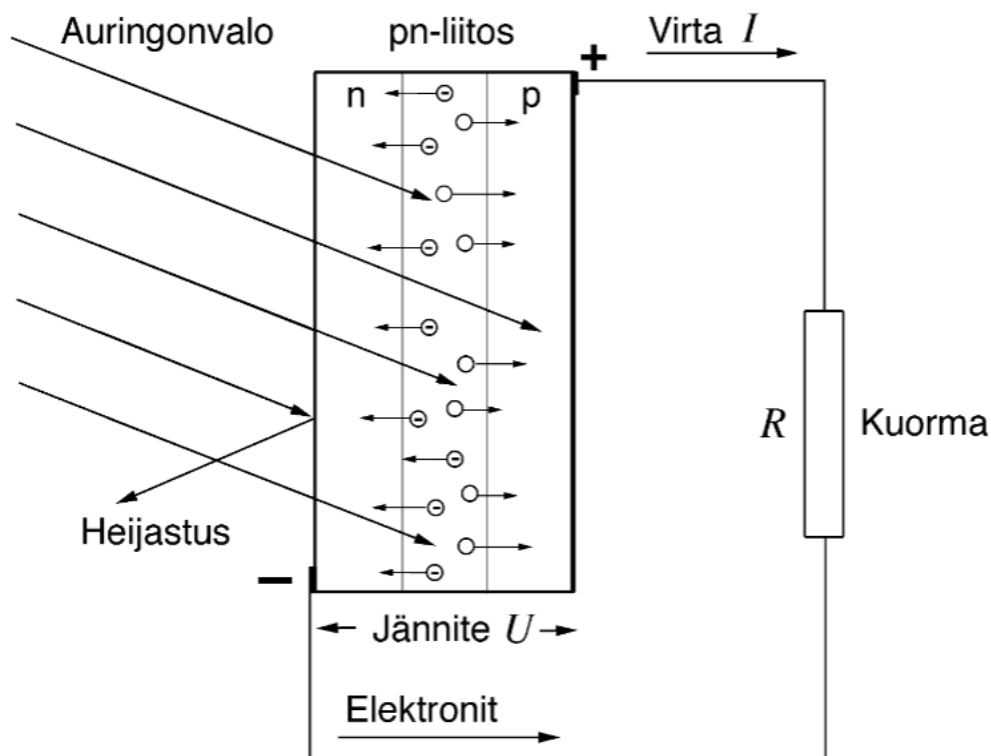
Aurinkopaneelit sisältävät yleensä yksi- tai monikiteisestä sekä amorfisesta piistä rakennettuja kennoja (Motivan www-sivut 2014). Maankuoressa esiintyvä pii on hyvin yleinen puolimetalli. Se on kuitenkin aina sitoutunut muihin alkuaineisiin. Aurinkopaneelien hintaa nostaa se, että pii on puhdistettava ja muokattava kennoja varten. (Laitinen 2010, 87)



Kiteiset piikennot ovat noin 0,2-0,3 mm paksuja. Pinta-alaltaan ne ovat noin (90-160)mm x (120- 160)mm. Halkaisijaltaan 10- 16 cm piihiosta on sahattu yksikiteiset piikennot. Pyöreistä kiekkoista ei kannata tehdä neliskulmaisia raaka-aineen korkean hinnan takia. Tämän takia yksikidepaneeleissa on aukot kennojen kulmissa. Neliskulmaisesta ahiosta tehtäviä monikiteisiä piikennoja pystytään käyttämään tarkemmin hyödyksi, koska raaka-ainetta ei mene niin paljon hukkaan. Valmistuskustannuksiltaan halvemmat ja taipuisat amorfisesta piistä valmistetut kennot ovat hyötysuhteeltaan pienempiä kuin edellä mainitut piikidekennot. (Suntekno, Aurinkopaneelit 2012)

Teoriassa piikidekennojen hyötysuhde on noin 31 prosenttia. Paneelin pinnalla olevat metallijohteiden liitokset, resistanssi sekä heijastukset paneelin päällä olevasta lasista heikentävät hyötysuhdetta. Jotkut valmistajat parantavat hyötysuhdetta käyttämällä lasin pinnalla heijastusta vähentävää pinnoitetta. Mitä tummempi paneeli on sitä vähemmän se heijastaa auringon valoa. (Suntekno, Aurinkopaneelit 2012)

Teknologian vakiinnuttua tarjolla olevista aurinkokennoista noin 90 prosenttia on piikidekennoja. Piikidekennoista valmistetut aurinkosähköpaneelit ovat hyötysuhteeltaan tavallisesti 15- 17 prosenttia. (Motivan [www-sivut](#) 2014)



Kuva 2. Aurinkopaneelin toimintaperiaate ja rakenne (Suntekno, Aurinkopaneelit 2012)

Aurinkopaneelin toimintaperiaate ja rakenne on esitetty kuvassa 2. Aurinkokennossa valo muuttuu sähkövirraksi. Aurinkokennossa on yhdistettynä kaksi erityyppistä puolijohdemateriaalia (n ja p). Auringon valon kohdistuessa kennoon ainakin osassa valolihiukkasia (fotoneita) on niin suuri energia, että ne läpäisevät ohuen pintakerroksen pn-liitoksen ja voivat muodostaa elektroni-aukopareja. Lähellä pn-liitosta muodostuvissa pareissa elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot p-puolelle. Rajapinnassa muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat liikkua vain tiettyyn suuntaan. Niiden on liikuttava ulkoista johdinta pitkin p-tyyppin puolijohteeseen. Vastasiellä ne voivat yhdistyä sinne kulkeutuneiden aukkojen kanssa. Valaistu liitos voi toimia ulkoisen piirin jännitelähteenä, koska liitoksen eri puolilla on vastakkaismerkkiset varauksenkuljettajat. (Suntekno, Aurinkopaneelit 2012)

Aurinkokennot, jotka on kytketty sarjaan ja/tai rinnan, muodostavat aurinkopaneelin. Kennot koteloidaan paneelikehyksien avulla. Kennojen eteen sijoitetaan suojalasi, joka läpäisee auringonvaloa. Nykyään on saatavilla monenlaisia ja -kokoisia sekä

moniin käyttötarkoituksiin soveltuvia aurinkopaneeleita. (Suntekno, Aurinkopaneelit 2012)

Sarjaan kytkettyjen aurinkokennojen jännite muodostuu kaikkien kennojen jännitteiden summasta. Rinnan kytkettyjen aurinkokennojen muodostama kokonaisvirta on kennojen yhteenlaskettu virta. Aurinkopaneelin tuottama tasasähkö eroaa yleisessä sähköverkossa olevasta vaihtosähköstä. (Suntekno, Aurinkopaneelit 2012)

Yksi aurinkokenno antaa 0,5- 0,6 V jännitettä. Aurinkopaneeli muodostuu käyttötärpeen mukaan sarjaan kytketyistä kennoista. Yleisimmin käytetään 36 kennon paneeleja, jolloin saadaan riittävän suuri jännite esimerkiksi 12V akkujen lataamista varten. Sähkövirta, mikä saadaan aurinkokennosta, on verrannollinen muodostuvien elektronien lukumäärään. Sähkövirran suuruus riippuu kennon pinta-alasta ja auringon säteilyn voimakkuudesta. Kennot pystyvät tuottamaan kirkkaalla auringonpaisteella sähkövirtaa noin  $32\text{mA}/\text{cm}^2$ . Esimerkiksi 90 mm x 120 mm suuruinen kenno tuottaa maksimissaan 3,5 A virtaa. Mikäli kennot on kytketty sarjaan, on yhden kennon tuottama virta yhtä suuri kuin koko aurinkopaneelistä saatava virta. (Suntekno, Aurinkopaneelit 2012)

### 3.2 Akullinen aurinkosähköjärjestelmä

Saarekejärjestelmä on sähköntuotantojärjestelmä, joka toimii itsenäisesti. Sitä ei ole kytketty yleiseen sähköverkkoon. Tasajännitteen ollessa enintään 120 V ja vaihtojännitteen enintään 50 V, sähköjärjestelmä on pienoisjännitteinen. Tällaisia pienoisjännitteisiä saarekejärjestelmiä ainakin sähköntuotannon osalta ovat mökkikäytössä olevat aurinkosähköjärjestelmät. Niillä voidaan tuottaa myös vaihtojännitettä invertterin avulla. Vaihtojännite on Suomen sähköverkossa noin 230 V. Pienoisjännitteisen sähköjärjestelmän voi asentaa henkilö, jolla ei ole erityistä sähköalan osaamista eikä urakointioikeuksia. Pienoisjännitteisestä sähköjärjestelmästä ei voi saada ihmiselle vaarallista sähköiskua. Tämä on perusteena asentamisen vapauteen. Saarekejärjestelmän asentaminen vaatii sähköurakointioikeudet omaavan asentajan, jos järjestelmässä on useita aurinkopaneeleja, jotka kytketään sarjaan. Sarjakytken jännite voi nousta niin suureksi, että pienoisjännitteen raja eli 120 V ylittyy. (Oulun ammattikorkeakoulu. 2014)

Sähköntuotantojärjestelmä tulee mitoittaa kulutuksen mukaan. Tämän vuoksi saarekejärjestelmässä sähkötarpeen arviointi on hyvin tärkeää. Tuotannon tulee riittää kulutukseen, mutta turhia kustannuksia syntyy tuotantojärjestelmän ylimitoittamisesta. Energiatehokkuuteen tulee kiinnittää erityistä huomiota sähkölaitteita valitessa. Nykyisin sähkölaitteiden energiankulutustiedot ovat hyvin saatavilla. (Oulun ammattikorkeakoulu. 2014)

Sähköntarpeen arviointiin kuuluu laitteiden käyttöaikojen arviointia. Esimerkkeinä käyttöaikojen arvioinnista ovat television päivittäinen katseluaika sekä imurin viikoittainen käyttöaika. Sähkölaitteiden energiankulutuksen voi laskea käyttöajan ja laitteiden arvokilvissä ilmoitetun tehon perusteella. Jos television teho on esimerkiksi 40W ja sitä katsellaan kaksi tuntia päivässä, voidaan laskea kuinka paljon televisio kuluttaa sähköä vuorokaudessa eli  $2h \times 40W = 80Wh$ . Mahdollisen invertterin häviöt on huomioitava sähköntarvelaskelmissa. (Oulun ammattikorkeakoulu. 2014)

Sähkön siirtohäviön huomioiminen on erittäin tärkeää pienoisjännitteisen sähköjärjestelmän suunnittelussa ja asentamisessa verrattuna tavanomaiseen sähköverkon piirissä olevan kotitalouden sähköasennuksiin. Pienoisjännitteisissä järjestelmissä siirtohäviöt on mietittävä jokaisen johtimen kohdalla erikseen. Toisin kuin tavallisissa kotitalousasennuksissa sähkönsiirtohäviötä ei tarvitse erityisemmin ajatella. Kotitalousasennuksissa riittää että käyttää 1,5mm<sup>2</sup>:n johtimia 10 ampeerin sulakkeella suojatuissa virtapiireissä ja 2,5mm<sup>2</sup>:n johtimia 16 ampeerin sulakkeilla suojatuissa piireissä. (Oulun ammattikorkeakoulu. 2014)

Normaalin sähköverkon jännite on noin 19-kertainen 12 voltin pienoisjännitteiseen saarekejärjestelmään verrattuna. Sähkönsiirtohäviöt ovat suoraan verrannolliset sähkövirran neliöön. Toisien sanoen ne ovat kääntäen verrannolliset jännitteen neliöön. Sähköteho on virran ja jännitteen tulo. Jos siirrettävä sähköteho ja kaapelit ovat samat ja kun sama sähköteho siirretään kaapeleilla 12 voltin järjestelmässä ja 230 voltin järjestelmässä, pienoisjännitteisessä järjestelmässä häviöteho on noin 360-kertainen verrattuna tavalliseen verkkojännitteeseen. (Oulun ammattikorkeakoulu. 2014)

Johtimessa kuluva häviöteho  $P$  on johtimen resistanssi  $R$ , joka kerrotaan sähkövirran  $I$  neliöllä eli  $P=RI^2$ . Johtimen resistanssi eli sähkövirran vastus on suoraan verrannollinen johtimen pituuteen ja kääntäen verrannollinen sen poikkipinta-alaan. Johtimen resistanssi riippuu sen materiaalista. Kupari on tavallisin sähköjohdinten materiaali. Sen ominaisvastus on  $0,0168 \times 10^{-6}$  ohmimetriä. Resistanssin yksikkö on ohmi. Ampeerin virta aiheuttaa voltin jännitehäviön ohmin resistanssin omaavassa vastuksessa. Jännitteen ja virran yksiköiden avulla  $ohmi = voltti/ampeeri = V/A$ . (Oulun ammattikorkeakoulu. 2014)

Tavallisin pienoisjännitteisissä saarekejärjestelmissä käytetty sähköjohto on  $2 \times 2,5mm^2$ :n johto. Alla olevassa esimerkissä lasketaan yhden metrin pituisen ja poikkipinta-alaltaan  $2,5mm^2$ :n johtimen resistanssi:

$$R = 0,0168 \times 10^{-6} V/A m \times 1m/2,5 \times (10^{-3}m)^2 = 0,0067 V/A$$

Tässä johtimessa yhden ampeerin virta aiheuttaa 6,7 millivoltin jännitehäviön metriä kohti. Tavallisessa kotitaloudessa käytetään esimerkiksi 16 ampeerin sulakkeita. Tämä 16 ampeerin virta vastaa hieman vajaata 200 watin tehoa pienoisjännitteisessä saarekejärjestelmässä, jonka jännite on 12 V. Sähköjohdin toimii aina parina eli metrin pituisessa johdinparissa virta kulkee edestakaisin kahden metrin matkan. Tämä on huomioitava, kun lasketaan tarvittavia johdinpaksuuksia. Yllä esitetyn laskentaesimerkin mukaisessa johtimessa 16 ampeerin virta aiheuttaa yhtä metriä kohti  $16 \times 6,7mV = 0,11V$  jännitehäviön. (Oulun ammattikorkeakoulu. 2014)

Jännitehäviöt pitäisi pystyä pitämään enintään noin puolen voltin suuruisina, jos järjestelmissä halutaan pitää kaapelihäviöt alle viidessä prosentissa. Laskentaesimerkissä 16 ampeerin virta aiheuttaa 0,54 voltin jännitehäviön viiden metrin matkalla. Tämä on suurin hyväksyttävissä oleva häviö. Kahden ja puolen metrin mittaisessa johdossa sähkövirta kulkee viiden metrin matkan. Kahdentoista voltin saarekejärjestelmässä 16 ampeerin virtaa voidaan siirtää 2,5 neliömillimetrin kuparijohtimessa maksimissaan 2,5 metrin pituinen matka. Tästä muodostuu yksinkertainen johtimen valinnan mitoitusääntö: 12 voltin pienoisjännitteisessä saarekejärjestelmässä voidaan siirtää enintään 16 ampeerin virta johdolla, jonka pituus metreinä on enintään sama kuin johtimen poikkipinta-ala millimetreinä. (Oulun ammattikorkeakoulu. 2014)

Johdinpaksuuden valintaan voidaan käyttää seuraavaa kaavaa:

$$\text{poikkipinta} - \text{ala} \text{ (mm}^2\text{)} = \text{johtimen pituus(m)} \times \text{virta(A)}/16$$

Jos johtimessa kulkeva enimmäisvirta on pieni, esimerkiksi viisi ampeeria, mainitulla  $2 \times 2,5\text{mm}^2$ :n johdolla voi siirtää virtaa enintään 8 metrin matkan. Kolmen tai neljän watin led-lamppujen sähkönsyötössä virta on yksi ampeeri ja mainitulla  $2,5\text{mm}^2$ :n johtimella voidaan siis siirtää sähkö valaisimille jopa 40 metrin matkan. (Oulun ammattikorkeakoulu. 2014)

### 3.3 Verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä

Verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä on uudempi järjestelmätyyppi kuin akullinen järjestelmä ja siksi niiden käyttö on alkanut yleistyä. Esimerkiksi suurissa kohteissa ei voida käyttää kuin verkkoon kytkettävää aurinkosähköjärjestelmää, koska akullinen järjestelmä ei yleensä pysty hyödyntämään aurinkopaneelien tuottamaa tehoa kokonaisuudessaan. Verkkoon kytkettävässä aurinkosähköjärjestelmässä pystytään hyödyntämään aurinkopaneelien tuottama kokonaisteho lähes kokonaan. Ainoastaan järjestelmässä syntyvät häviöt menevät hukkaan.

Sähköverkkoon liitettävä järjestelmä (ON-Grid) eroaa akullisesta järjestelmästä siten, että akustoa ei ole ja näin ollen järjestelmän komponenttien määrä on vähäisempi. Verkkoon liitettävässä järjestelmässä sähköenergia siirretään suoraan invertterille, joka muuntaa aurinkopaneeleista tulevan tasajännitteen (DC) verkosta saatavaan vaihtojännitteeseen yleensä 230 V (AC).

Tässä järjestelmässä sähköenergiaa ei varastoida mihinkään, vaan se menee suoraan käyttöön. Sähköenergia menee hukkaan, jos kiinteistössä ei käytetä laitteita aurinkopaneelien tuottamalle sähkölle. Tämä sähköenergian hukkaan meneminen voidaan välttää kytkemällä aurinkosähköjärjestelmä syöttämään verkkoyhtiön verkkoon oman tarpeen ylittävä sähköenergia. Ennen verkkoyhtiön verkkoon syöttöä tulee varmistaa etukäteen millaisen invertterin (vaihtosuuntaajan) verkkoyhtiö kelpuuttaa. Toinen olennainen seikka on myös tietää, maksaako verkkoyhtiö verkkoon syötetystä sähköstä korvauksia. Tämä on tärkeä tietää, koska verkkoon syötetty sähkö voi ai-

heuttaa kuluja sähkön mittaamisessa. Esimerkiksi verkkoyhtiö voi joutua vaihtamaan tai uudelleen ohjelmoimaan etäluettavan sähkömittarin. Verkkoon syöttämisestä laaditaan myös sopimus verkkoyhtiön kanssa. Verkkoon kytkemisestä lisää kappaleessa 6.

Toiminnaltaan verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä on lähes akullisen järjestelmän kaltainen. Järjestelmän akuttomuuden takia ei tarvita erillistä lataussäädintä. Lataussäätimestä lisää tietoa kappaleessa 3.4.2.

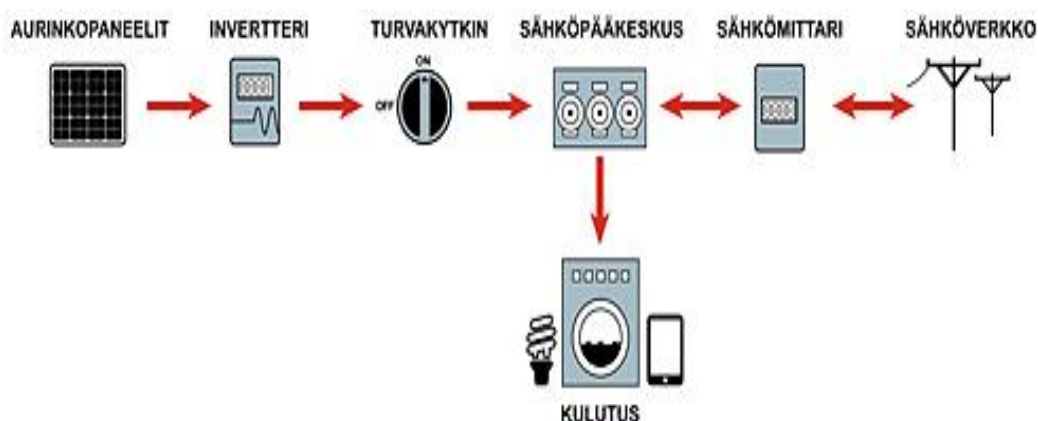
Sähkökeskukseen kytkettävät vaihtosuuntaajat eroavat käyttöjännitteeltään akullisen aurinkosähköjärjestelmän vaihtosuuntaajasta, koska vaihtosuuntaajan tulee olla juuri verkkoon soveltuva. Verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä pystyy syöttämään sähköä verkkoon päin, jos vaihtosuuntaajaan tasajännitepuolelle (DC) syötettävä jännite on vähintään vaihtojännitteen (AC)- huippujännitteen suuruinen. (Lappalainen 2014, 16)



Kuva 3. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän rakenne. (Arevasolar)

Verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä tulee olla erotettavissa sähköverkosta lukittavalla vaihtovirtapiirin turvakytkimellä, kuvassa 3. Tälle turvakytkimelle on verkkoyhtiöllä oltava vapaa pääsy. Turvakytkin sijoitetaan invertterin ja pääkeskukseen/ryhmäkeskuksen väliin. Verkkoon kytkettävään aurinkosähköjärjestelmään kuu-

luu kiinteistön energiamittari, jolla mitataan verkosta syötettävää ja verkkoon syötettävää sähköenergian määrää. Energiamittari on sähkönjakeluverkon vastuulla, näin ollen se ei kosketa aurinkosähköjärjestelmän käyttäjää. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Verkkoon kytketyn pientalon aurinkosähköjärjestelmän kokoonpanokuva. (Motivan www-sivut 2014)

### 3.4 Laitteet

#### 3.4.1 Akusto

Akku on laite, joka muuttaa sisältämänsä kemiallisen energian sähköenergiaksi. Tämä tapahtuu hapetus-pelkistysreaktion avulla. Kenno on akun sähkökemiallinen yksikkö. Se koostuu kahdesta elektrodista; negatiivisesta anodista ja positiivisesta katodista. Anodi luovuttaa elektroneja ja katodi vastaanottaa niitä. Samalla anodilla tapahtuu hapettumisreaktio ja katodilla pelkistymisreaktio. Elektrodiin välissä on elektrolyytti, joka useimmissa tapauksissa on nestettä, jossa vapaat ionit kuljettavat varauksia. Elektrodiin materiaali vaikuttaa kennon jännitteeseen ja energiatiheuteen. (Linden 2002, 1.3)

Akuista voidaan ottaa suoraan virtaa niihin laitteisiin, jotka hyödyntävät tasavirtaa. Tasavirran saa muutettua vaihtovirraksi invertterin avulla. (Motivan www-sivut 2014)



Vain verkkoon kytkemättömiin aurinkosähköjärjestelmiin voidaan liittää akusto. Akkuihin varastoidaan sähköä myöhempää käyttöä varten (Motivan www-sivut 2014). Verkkoon kytkemättömässä aurinkosähköjärjestelmässä käytetään tavallisimmin lyijyakkuja (Käpylehto 2014, 10.).

Ensimmäinen kaupalliseen käyttöön tullut akkutyyppe on lyijyakku, joka keksittiin 1850-luvun lopulla. Akun suosion säilyvyys perustuu sen halpaan hintaan (Batteryuniversity. 2016). Lyijyakut jaetaan käyttötarkoituksensa mukaan kahteen tyyppiin; käynnistysakkuihin ja syväpurkausakkuihin. Käynnistysakkujen tarkoitus on luovuttaa nopeasti energiaa. Niissä lyijylevyt ovat ohuimmat ja niissä on käytetty erilaisia materiaaleja. (Batterystuff)

Useimmiten käytettyjä lisäaineita ovat esimerkiksi antimoni, kalsium, tina ja seleeni (Batteryuniversity. 2016). Syväpurkausakut luovuttavat energiaa pitemmällä aikavälillä kuin käynnistysakut. Syväpurkausakuissa on paksummat lyijylevyt. Ne kestävät enemmän lataussyklejä ja alhaisia varaustiloja. Käynnistysakut voidaan jakaa vielä avoimiin eli standardiakkuihin sekä suljettuihin eli VRLA- akkuihin (Valve Regulated Lead Acid). Suljettuja akkuja ovat AGM-akut ja GEL-akut. (Batterystuff)

Avoimissa lyijyakuissa elektrolyytti on nestemäistä, kun taas suljetuissa lyijyakuissa elektrolyytti on joko geelimäisessä muodossa tai imeytetty lasikuitumattoon. (Batteryuniversity. 2016)

Avoimia akkuja kutsutaan myös standardiakuiksi. Niissä nestemäinen elektrolyytti peittää levyt. Latauskaasut johdetaan ulos akussa olevien korkkien tai sen kannessa olevien venttiilien kautta. Avoimiin akkuihin täytyy lisätä vettä säännöllisin väliajoin, jotta kemiallinen balanssi voidaan ylläpitää. (Esala 2011) Avoimia akkuja käytetään esimerkiksi käynnistysakkuina tai suurten järjestelmien teholähteinä (Batteryuniversity. 2016).

Ensimmäiset suljetut eli huoltovapaat akut keksittiin 1970-luvun puolivälissä. Suljetut akut sisältävät vähemmän elektrolyyttejä kuin avoimet akut (Batteryuniversity. 2016). Venttiiliohjatuissa eli suljetuissa akuissa ei ole vapaata elektrolyyttiä eli happoa, vaan se on sidottu geeliin tai lasivillaerottimeen. Nämä molemmat sovellukset ovat roiske- ja vuotosuojattuja. Happovuotoa ei synny, jos akku vahingoittuu tai ko-

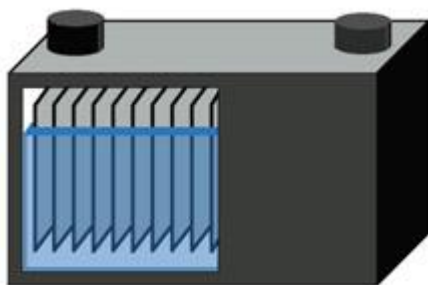
telo murtuu. Akuissa varauksessa syntyvä kaasu muuntuu vedeksi akun sisällä. Akuissa oleva turvaventtiili avautuu, jos paine kasvaa akun sisällä liian suureksi esimerkiksi ylivarauksen takia. (Euroglobe)

Geeliakku on venttiiliohjattu akku. Siinä akkuhappoon on lisätty hyytelöksi jähmettyvää piiliuosta. Geeliakut ovat tekniseltä rakenteeltaan kiinteitä ja sietävät hyvin syväpurkauksia. Akkujen käynnistysteho jää pienemmäksi kuin akkujen, joissa elektrolyytti on imeytetty lasikuitumattoon. Geeliakkujen käynnistysteho jää myös pienemmäksi kuin avoimilla akuilla. Syy tähän on geeliakkujen korkeampi sisäinen varaus. (Euroglobe)

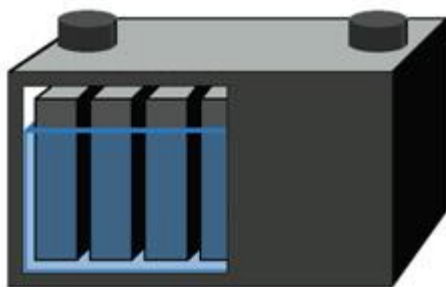
Lyhenne AGM tulee englannin kielestä Absorbent Glass Matt eli imeytetty lasivillamatto. AGM- akku on venttiiliohjattu akku. Siinä lasivillamatto toimii erottimena. Elektrolyytti on imeytetty erottimiin ja levyihin, joka mahdollistaa alhaisen vastuksen ja antaa suuren käynnistystehon. AGM- akut kestävät toistuvia varauksia ja purkauksia niin sanottuja tavallisia avoimia akkuja paremmin. (Euroglobe)

AGM- akkujen etuina geeliakkuihin on niiden halvempi hinta. Ne ovat kuitenkin kalliimpia kuin avoimet akut (Batteryuniversity. 2016).

Syväpurkausakkuja (Deep Cycle) on suunniteltu erityisesti pieniin aurinko- ja tuulisähköjärjestelmiin. Syväpurkausakut ovat suljettuja lyijyakkuja. Syväpurkausakkujen käynnistyslevyt ovat paksumpia kuin esimerkiksi käynnistysakuissa käytettävät lyijylevyt (Kuvat 5 ja 6). Paksummat lyijylevyt takaavat paremmat sykliominaisuudet. Tämän ansiosta syväpurkausakut kestävät hyvin toistuvaa syväpurkautumista. Lisäksi syväpurkausakut ovat pitkäikäisiä sekä huoltovapaita. (Batteryuniversity. 2016)



Kuva 5. Käynnistysakku. (Batteryuniversity. 2016)



Kuva 6. syväpurkausakku. (Batteryuniversity. 2016)

Aurinkopaneeli- ja invertterijärjestelmiin soveltuvien akkujen tulee kestää syviä purkaukertoja. Siksi nämä akut eroavat huomattavasti tavallisista starttiakuista. Käynnistyksen yhteydessä käytettävästä starttiakusta puretaan virtaa vain 2-5 prosenttia, jonka jälkeen akku latautuu heti uudelleen. Starttiakun käyttöikä olisi hyvin lyhyt, jos sitä käytettäisiin energian varastointiin aurinkopaneeli- ja invertterijärjestelmässä. (Pellettipojat)

Akut tulee sijoittaa paikkaan, joka on hyvin suojassa vesisateelta ja auringonpaisteelta. Paikan tulee olla myös hyvin tuuletettu. Tyypillinen akun sijoituspaikka on talon kuistin alus tai sokkelitila. Akkuja ei suositella sijoittamaan sisälle. Mahdollisessa ylilataantumistilanteessa akku synnyttää myrkyllisiä ja räjähdysvaarallisia kaasuja, jotka purkautuvat ilmaan. Talviajan akku voidaan ja se kannattaakin pitää järjestelmään kytkettynä. On kuitenkin huolehdittava, että akkua ei jätetä liian tyhjäksi, koska se saattaa jäätyä kovalla pakkasella. Mahdollista oikosulkua varten akun ja järjestelmän väliin on aina asennettava sulake. (Eurosolar 2008)

### 3.4.2 Lataussäädin

Verkkoon kytkemättömään järjestelmään kuuluu lataussäädin. Se asennetaan aurinkopaneelien ja akuston väliin (Motivan www-sivut 2014). Lataussäädin estää akuston ylilatauksen ja syväpurkauksen sekä virran vuotamisen takaisin paneeliin. Aurinkopaneelin maksimivirta vaikuttaa lataussäätimen valintaan. (JN- solar). Lataussäädin mahdollistaa jatkuvan akkujen latauksen. Kaikki aurinkopaneeleista saatava sähkö käytetään akkujen lataamiseen, kunnes lopullinen jännite on saavutettu. Lataussäädin valitsee automaattisesti parhaimman lataustavan akkujen varaustilasta riippu-

en. Näitä ovat jatkuva lataus, pikalataus ja tasoituslataus. Tällöin lataussäädin perustaa toimintansa oikeisiin asetuksiin kunkin lataustavan kannalta.

(Humaliston sähkö. 2011)

Kuten edellä on mainittu, lataussäädin suojaa akkua liialliselta purkautumiselta. Jos akun varaustila tai jännite laskee alle määritellyn tason, lataussäädin kytkee kulutuslaitteet irti ja estää akun syväpurkautumisen. Yleensä lataussäätimen näytölle tulee ennakkovaroitus. Näyttö osoittaa kulutuslaitteiden irtikytkemisen syväpurkauksen tapahtuessa. (Humaliston sähkö. 2011)

Lataussäädin tulee asentaa sille sopivalle pinnalle ja akkujen läheisyyteen. Pinnan tulee olla kiinteä, stabiili, tasainen, kuiva ja syttymätön. Lataussäädintä ei saa asentaa ulos, koska sen tulee olla jatkuvasti suojattuna kosteudelta, valumilta, roiskeilta, sadedvedeltä sekä epäsuoralta kuumenemiselta kuten auringonpaisteelta. Auringon UV-säteily voi myös vahingoittaa lataussäätimen sisäänrakennettua nestekidenäyttöä. Koska lataussäädin tuottaa lämpöä toimiessaan, liian pieneen tilaan asennettuna jäähtyminen estyy ja laite ylikuumenee. (Humaliston sähkö. 2011)

Akkukaapelin pitää olla mahdollisimman lyhyt eli enintään kaksi metriä ja sen poikkipinta-alan tulee olla riittävä häviöiden minimoimiseksi. Lataussäätimen ja akkujen tulisi olla samassa lämpötilassa. Tällöin lataussäätimen lämpötilakompensointi toimii oikein. Jos akut on sijoitettu kauas lataussäätimestä, on mahdollista hankkia lataussäätimeen lisävarusteena ulkopuolinen lämpötilasensori. (Humaliston sähkö. 2011)

Lataussäätimen näyttöruudulta saadaan tietoa aurinkosähköjärjestelmän toiminnasta kuvin ja numeroin. Varaustilan näyttö näyttää lataustason, päivä/yötilan sekä onko kulutuslaite kytkettynä päälle vai pois. Lataussäätimen näytöltä selviää myös esimerkiksi akkujen jännitetaso, aurinkopaneelien tuottama virran määrä, latausvirran määrä aurinkopaneeleista akkuihin ja sen hetkisten kulutuslaitteiden kuluttama virta. Lataussäätimen näytölle saattaa ilmestyä ennakkovaroitus akkujen varaustilan laskemisesta liian alas. Kuvassa 7 on esimerkki lataussäätimestä. (Humaliston sähkö. 2011)

Lataussäädin tarkkailee toimiessaan tiettyjä akkujen toimintaan liittyviä arvoja kuten jännitettä  $U$  ja virtaa  $I$  ja laskee niistä akkujen varaustilan. Varaustila kertoo akuissa

jäljellä olevan energiamäärän. Varaustilatoiminto kertoo aina akkujen kulloisenkin todellisen varaustilan. Tässä toiminnossa säädin ohjaa lataustavan valintaa sekä syväpurkaussuojausta ylläpitääkseen akkua optimaalisella tavalla. Varaustilan laskeminen ei ole mahdollista, mikäli joku tarpeellisista lähtöarvoista ei ole käytettävissä. Tällainen tilanne on esimerkiksi silloin, kun kulutuslaite on kytketty suoraan akkuihin. Jos tällaista tilannetta ei voida välttää, lataussäädin voidaan kytkeä jänniteohjattuun tilaan. Kun lataussäädin asennetaan uudelleen, varaustilan laskenta alkaa aina alusta. (Humaliston sähkö. 2011)



Kuva 7. Esimerkki lataussäätimestä. (Antennikauppa. 2013)

### 3.4.3 Vaihtosuuntaaja (Invertteri)

Verkkoon liitetyn aurinkosähköjärjestelmän toinen pääkomponentti on vaihtosuuntaaja eli invertteri, joka on joko 1- tai 3-vaiheinen. Invertterin avulla aurinkopaneelien tuottama tasavirta muutetaan vaihtovirraksi, joka vastaa kiinteistön sähköverkon sekä jakeluverkon vaatimuksia. Aurinkopaneelit kytketään sähköjärjestelmään eli sähköpääkeskukseen invertterin kautta. (Motivan www-sivut 2014)

1-vaiheinen invertteri kytketään verkon yhteen vaiheeseen. Tuotettua aurinkosähköä voivat siis hyödyntää vain kyseiseen vaiheeseen kytketyt sähkölaitteet. Tällä hetkellä

1-vaiheiset invertterit ovat käytännössä ainoa vaihtoehto pieniin eli alle 3kWp järjestelmiin. Markkinoilla ei ole saatavilla pieniä 3-vaiheisia inverttereitä. (Motivan www-sivut 2014)

3-vaiheinen invertteri palvelee verkon kaikkia kolmea vaihetta. Yleensä 3-vaiheisilla inverttereillä saadaan aurinkosähköjärjestelmästä suurin hyöty. Kaikkiin kohteen sähkölaitteisiin voidaan syöttää sen avulla tuotettua sähköä. Sähkölaitteiden ryhmitely ja se, millaisia laitteita kohteessa on, vaikuttavat siihen millainen hyöty 3-vaiheisesta invertteristä saadaan. (Motivan www-sivut 2014)

Invertterien tärkeimmät ominaisuudet ovat, että ne toimivat turvallisesti ja parantavat olemassa olevaa sähköverkon toimintaa. Lisäksi invertterin tulee toimia tehokkaasti ja muuntaa aurinkopaneelien tuottamasta tasasähköstä hyvälaatuista siniaaltoista verkkovirtaa mahdollisimman pienin häviöin. (Aurinkovirran www- sivut)

Valmistaja kiinnittää invertteriin CE- merkin, jos laite täyttää eurooppalaiset vaatimukset ja on sähköturvallinen. Laite on sähköturvallinen, jos saarekekäytön esto täyttyy ja Suomen sähköverkkoon kytkettävä sähköntuotantolaite täyttää vaadittavat suojausasetukset. Käytännössä voidaan pitää yksinkertaisimpana tapana näiden vaatimusten toteutumista, jos invertteri on saksalaisen VDE-AR.N.4105 2011-08- mikrotuotantonormin mukainen. Kuvassa 8 edellä mainitun normin täyttävä invertteri. (Aurinkovirran www- sivut)



Kuva 8: Invertterin teknisiä ominaisuuksia sekä CE- merkintä. (Aurinkovirran [www-sivut](#))

Kunnollisen verkkoinvertterin hyötysuhde on noin 97,5- 98,5 prosenttia. Invertteri muuttaa hyötysuhteen ilmoittaman osan aurinkopaneelin tasasähköstä verkkosähköksi. Loppuosa eli noin 1,5- 2,5 prosenttia aurinkopaneelien tuottamasta sähköstä muuttuu hukkalämmöksi invertterissä.(Aurinkovirran [www- sivut](#))

Invertteri asennetaan aurinkopaneelien ja talon sähkökeskukseen tehtävän liitännän väliin. Asennuksessa käytetään tarvittavia suojalaitteita. Invertteri pitää asentaa valmistajan ohjeiden mukaan. Tärkeimmät huomioon otettavat seikat ovat; tyhjän tilan tarve invertterin ympärillä, invertterin ympäristövaatimukset sekä sen tarvitsemat suojalaitteet. (Aurinkovirran [www- sivut](#))

Invertteri asennetaan useimmiten ulkotilaan, halliin tai katokseen. Kuvassa 9 invertteri on asennettu talon seinään. Invertteri voidaan asentaa myös sisätiloihin, mutta se on harvinaisempaa. Liian lämpimään sisätilaan asennettu invertteri saattaa tarvita lisätuuletusta tai tuulettimia. Kuvassa 10 on meneillään invertterin asennus sähköpääkeskukseen. Invertterin vasemmalla puolella oleva turvakytkin on kuitenkin liian lähellä invertteriä. (Aurinkovirran [www- sivut](#))



Kuva 9. Invertteri asennettuna talonseinään. (Aurinkovirran www- sivut)



Kuva 10. Invertterin asennus sähköpääkeskukseen. (Aurinkovirran www- sivut)



Verkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä invertteriä käytetään tasavirran muuttamisessa vaihtovirraksi. (Motivan www-sivut 2014)

Aurinkosähköjärjestelmään sisältyy useimmiten pientalojen kokoluokassa yksi invertteri. Saatavilla on myös mikroinverttereitä, jotka liitetään järjestelmään paneelikohtaisesti. Jos osa paneeleista on varjossa ja sähköjärjestelmään on liitetty useita mikroinverttereitä, sähköntuotto on tällöin tehokkaampaa. Jos käytössä on tavallinen keskitetty invertteri ja osa paneeleista jää varjoon, sarjaan kytketyn järjestelmän teho tuotto pienenee. Kun järjestelmä koostuu useasta mikroinvertteristä, on se investointikustannuksiltaan kalliimpi kuin järjestelmä, jossa on vain yksi suurempitehoinen invertteri. Lisäksi, kun komponentit lisääntyvät, järjestelmän huoltovarmuus heikkenee. (Motivan www-sivut 2014)

#### 3.4.4 Asennustelineet

Aurinkopaneeleja voidaan kiinnittää monella eri tavalla käyttötarkoituksesta riippuen. Ohessa on muutamista kiinnitystavoista esimerkkejä.

Kiinteät kattotelineet ovat yksinkertaisin ja kustannuksiltaan halvin tapa toteuttaa aurinkosähköjärjestelmän aurinkopaneelien kiinnitys. Asennustapa on erittäin käytökelpoinen, jos harjakattojen kaltevuus ja suuntaus ovat suotuisat aurinkopaneelien toiminnan kannalta. Kiinteä asennustapa ei ole paras mahdollinen, jos paneelikulmaa tai paneelien suuntausta tarvitsee säädellä (Katso kuva 11).



Kuva 11. Kiinteät asennustelineet aurinkopaneeleille. (Vaihdavirtaa 2012)

Säädettävät telineet ovat myös yksinkertainen tapa toteuttaa aurinkopaneelien kiinnitys, koska niiden avulla voidaan aurinkopaneelit asentaa esimerkiksi tasakatonle suotuisaan kulmaan ja suotuisasti suunnattuna. Aurinkopaneelien kulman säätäminen onnistuu vielä jälkikäteenkin säädettävien telineiden ansiosta. Myrskyolosuhteet voivat heikentää säädettävien telineiden aurinkopaneelien kestävyttä.

Aurinkoa seuraavat telineet ja jalustat ovat myös mahdollisuus kuluttajalle. Yleensä näiden hinta kohoaa liian suureksi, koska yhdenkin paneelin teline saattaa maksaa satoja euroja. Toisena ongelmana, jota varsinaisesti ei ongelmana voi pitää on se, että aurinkoa seuraava jalusta tai teline liikkuu sähköllä, joten se heikentää aurinkosähköjärjestelmän hyötyä. Kiinnitysratkaisut vaativat enemmän tilaa ja budjettia, kuin esimerkiksi kiinteät kattotelineet. Liikkuvien aurinkosähköjärjestelmien telineiden tai jalustojen avulla voi saavuttaa huomattavasti suurempia hyötyjä kuin kiinteillä kattotelineillä. Kuvassa 12 aurinkosähköpuiston aurinkoa seuraavat jalustat.

(Lappalainen 2014, 38)

Aurinkoa seuraavissa järjestelmissä yhden kääntymisakselin avulla voi seurata aurinkon korkeutta ilmansuuntaa. Kahdella akselilla paneelit voi suunnata täsmällisesti aurinkoa kohti. Kahden akselin seuranta voi mahdollistaa sääoloista riippuen noin 1,5- 2 kertaisen vuosituotannon kiinteisiin asennuksiin verrattuna.



Kuva 12 aurinkosähköpuiston aurinkoa seuraavat jalustat. (Tieteenkuvalehti 2011)

## 4 AURINKOLÄMPÖ

Aurinkolämmön talteenotto on tunnettu jo vuosituhansien ajan: aurinko kuumentaa tummassa astiassa olevan veden. Uusimpien järjestelmien kohdalla tämä menetelmä on kehitelty huippuunsa ja tuloksena on tehokas ja varma tapa tuottaa lämpöenergiaa auringosta. Aurinkolämmön käyttökohteita ovat niin omakoti-, rivi-, kerrostalo kuin aluelämpöjärjestelmät.

Aurinkolämmön tietämys on viimeisen viiden vuoden aikana kehittynyt huimasti. Tällä hetkellä aurinkolämpöjärjestelmiä asennetaan enimmäkseen satunnaisiin pienkohteisiin osaksi hybridilämmitysjärjestelmää. Yli 100 neliömetrin aurinkolämpöjärjestelmiä on vielä suhteellisen vähän. Lähitulevaisuudessa povataan aurinkokehäimien yleistyvän rajusti ja niiden tunnettavuutta voidaan verrata jo ilmalämpöpumppuihin.

Aurinkolämmön merkittävimmät edut Sundialin [www](http://www.sundial.fi)-sivujen mukaan:

- ”Aurinkolämpö säästää merkittävästi lämmityskuluissa”
- ”Aurinkolämpö vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä kustannustehokkaasti”
- ”Aurinkolämpö säästää uusiutumattomia luonnonvaroja”
- ”Aurinkolämpö ei aiheuta saasteita”
- ”Aurinkolämpö on testattu ja luotettava tapa tuottaa energiaa”
- ”Aurinkolämpö on heti saatavilla”
- ”Aurinkolämpöjärjestelmä tuottaa asentamisen jälkeen ilmaista energiaa”
- ”Aurinkolämmön polttoainetta on rajattomasti”

(Sundial)

#### 4.1 Aurinkokeräin

Aurinkokeräimillä tuotetaan aurinkolämpöä. Sen ensisijainen tehtävä on lämpimän käyttöveden tuottaminen, mutta myös huoneiden lämmittämiseen voidaan käyttää aurinkokeräintä.

Yleisin käytössä oleva aurinkokeräin on nestekiertoineen tasokeräin. Pumpun avulla nestekiertoisessa tasokeräimessä kiertää vesi-glykoliseos. Lämmennyt vesi-glykoliseos siirtyy kokoomaputkien kautta lämmönvaraajaan. Lämpö siirtyy varaajasta lämmönvaihtimen kautta talon lämmitysjärjestelmään tai käyttöveden lämmittämiseen. Lämminvesivaraajassa on aurinkolämmitystä varten oltava tilaa aurinkokeräimen ja lämmönjakopiirien lämmönsiirtimille. Ohjausyksikkö ohjaa järjestelmän toimintaa. Paineistamatonta varaajaa käytetään, kun käyttövesi lämmitetään lämmönsiirtimillä varaajassa. Kun käyttövesi otetaan suoraan varaajasta, tulee käyttää paineistettua varaajaa.

Tavallisesti aurinkokerääjät ovat kokoluokaltaan 1-2 m<sup>2</sup>. Pinta- alaltaan pieni yhden neliön keräin tuottaa energiaa vuodessa noin 250- 400 kWh. Aurinkokerääjillä tuotetun energian rahallinen arvo vuodessa on noin 20- 30 euroa neliömetrin kokoista kerääjää kohden. 8-12 neliömetrin järjestelmä on sopiva pientaloihin ja asennettuna se maksaa noin 4000- 5000 euroa. Yhteishankintana tai osan asennustyöstä itse teke-mällä voi säästää kustannuksissa.

Aurinkolämpö soveltuu yhteen öljy-, pelletti-, puu-, hake-, sähkö- ja maalämmön kanssa. Erityisen hyvin aurinkolämpö soveltuu lämmitysjärjestelmään, jossa on lämminvesivaraaja, esimerkiksi puu- tai hakelämmityksen kanssa, mutta lisäksi myös

lämpöpumppujärjestelmiin. Öljy- ja aurinkolämmön yhdistämiseen on kehitetty tarkoituksenmukainen öljykattila. Sähkölämmitystaloissa aurinkolämpö kytketään lämminvesivaraajaan. Aurinkolämpöjärjestelmiä mitoittaessa, suunniteltaessa ja asennettaessa on hyvä käyttää LVI- alan ammattilaisia.

Talojen lattialämmitysjärjestelmässä saadaan suurempi määrä energiaa aurinkolämpöjärjestelmästä kuin patterilämmitysjärjestelmässä, koska kiertävän nesteen lämpötila on siinä matalampi.

Aurinkolämpöjärjestelmää mitoittaessa lähtökohtana pidetään kesäkuukausien lämpöenergiankulutusta ja käyttöveden tarvetta. Varaajan kapasiteetin pitäisi olla riittävän suuri muutaman päivän kulutukseen. Talvella aurinkolämpöjärjestelmä toimii muun lämmitysjärjestelmän ohella.

5-8 neliömetrin keräinpinta- alalla saavutetaan karkeasti puolet vuotuisen lämpimän käyttöveden energiantarpeesta. Jos halutaan lämmittää myös huoneita samalla, niin keräinpinta- alaa tarvitaan noin 10- 12 neliometriä.

(Motivan www-sivut 2014)

## 4.2 Tyhjiöputkikeräin

Auringon hajasäteilyä pystytään hyödyntämään tyhjiöputkitekniikan avulla. Tyhjiöputkitekniikasta hyödytään kevättalvella ja syksyllä eniten, koska mitä alempaa ja vähemmän aurinko paistaa sitä enemmän energiaa silloin tarvitaan.

Joitakin tyhjiöputkikeräinmalleja on mahdollista asentaa myös täysin pysty- tai vaakasentoon. Pystyasento parantaa energian saantia alkukevään ja loppusyksyn aikana. Vastaavasti kesäaikainen tuotto pienenee, mutta yleensä se riittää kattamaan kesäaikaisen kulutuksen. (Motivan www-sivut 2014)

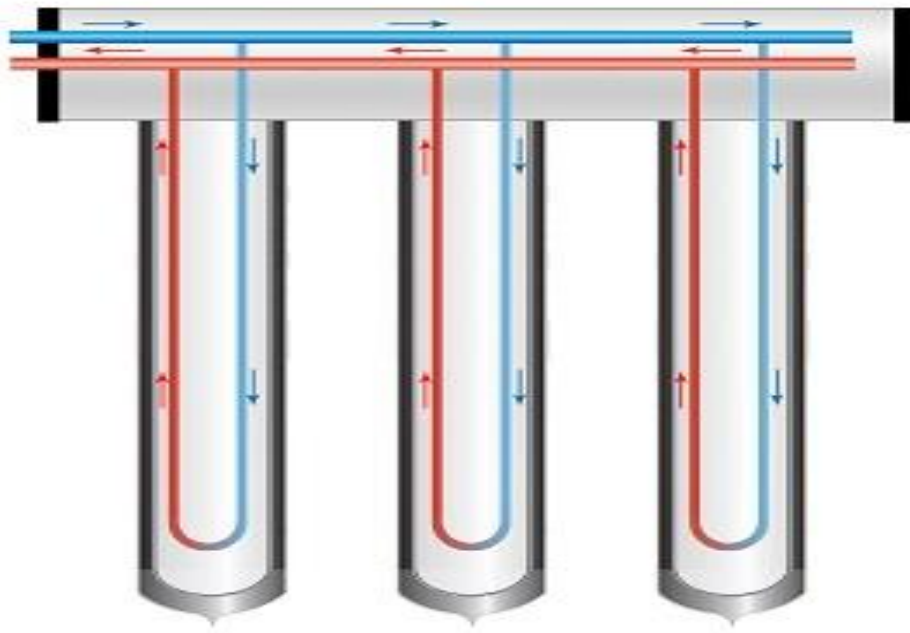
Tyhjiöputkikeräimen lämmönkeruuputkisto on sijoitettu eristeenä toimivan tyhjiön lasiputkilon sisälle. Tyhjiöputken sisäpinta on pinnoitettu selektiivisellä pinnoitteella. Tyhjiöputkissa voi olla takana heijastuspinta, jolla aurinkoenergiaa kerätään putken takapinnaltakin. Tyhjiöputkirakenne on omiaan tehostamaan aurinkoenergian hyö-

dyntämistä, koska sen rakenne ei ole mitenkään riippuvainen säteilyn tulosuunnasta. Tyhjiöputkikeräin hyödyntää myös hajasäteilyä eli lämpöä saadaan otettua talteen myös pilvisillä keleillä. Tyhjiöputkikeräimen hyötysuhde vaihtelee paljon ja se on noin 35- 85 prosenttia. Putken sisällä oleva lämpötila voi nousta jopa 250 asteeseen. Tyhjiöputkikeräimen rakenne kuvassa 13. (Aurinkopuisto 2016)



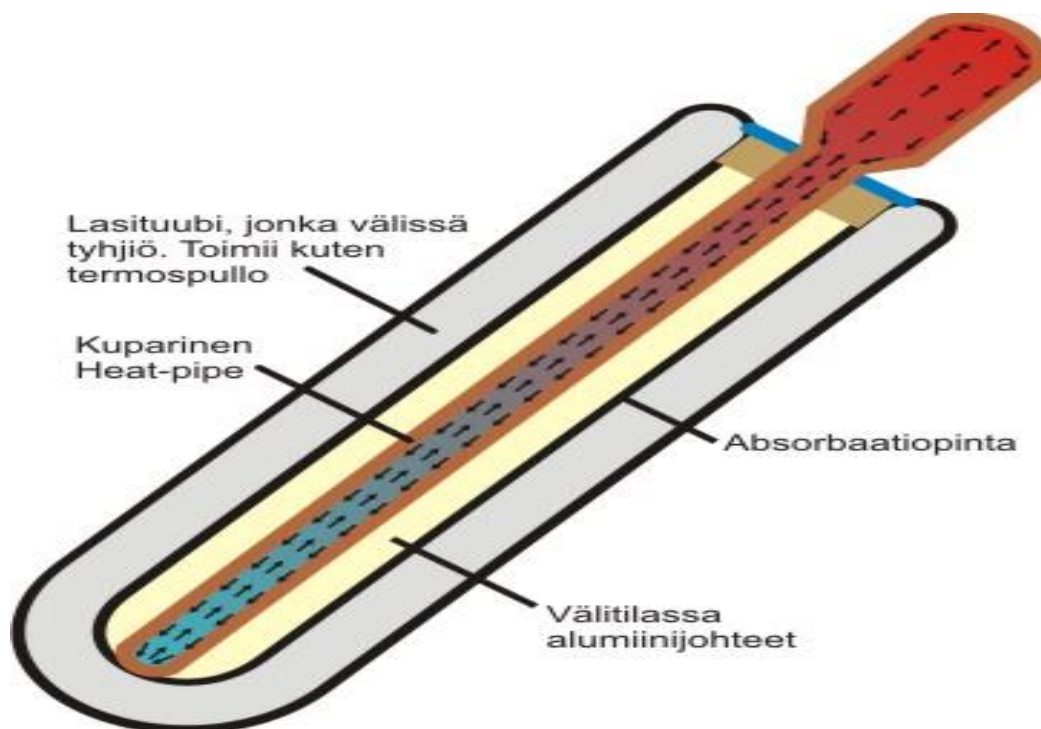
Kuva 13 Tyhjiöputkikeräimen rakenne. (Aakko & Ylikangas 2013, 16)

Tyhjiöputkikeräimet voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin, Heat Pipe ja U- pipe malleihin. U- pipe mallin tyhjiökeräin toimii alhaisen lämpöhäviön takia hyvin meidän ilmastossamme. Toimintaperiaatteeltaan U- pipe malli on melko yksinkertainen. Tyhjiöputkissa lämmöksi muuntuva aurinkoenergia siirtyy alumiinilevyjen välityksellä kupariputkeen ja siitä eteenpäin lämmönsiirtonesteeseen. Pumppuyksikön avulla lämmennyt neste siirtyy varaajaan, missä lämpö siirtyy kotitalouden käytettäväksi. Kuvassa 14. U- Pipe tyhjiöputkikeräin. (Energiaa- auringosta, U- Pipe tyhjiöputkikeräin 2010)



Kuva 14. U- Pipe tyhjiöputkikeräin. (Ricaheating. 2013)

Heat Pipe tyhjiöputkikeräimessä oleva, matalassa lämpötilassa höyrystyvä etanolipohjainen yhdiste toimii lämmön siirtäjänä putken yläosaan. Putken yläosassa höyry luovuttaa lämmön lämmönvaihtimen läpi virtaavaan siirtonesteeseen. Jäähdytynyt neste valuu alas ja höyrystyy yhä uudelleen. Heat Pipe putken päällä on kaksikerroksinen lasituubi, jonka välissä on tyhjiö ja se estää lämmön ulossäteilyn. Tämän vuoksi toiminta on tehokasta kylmässä. Koska kyseessä on putki, sen keräyssektori on luonnollisesti 180 astetta. Putki kerää hajasäteilyäkin tehokkaasti. Kuvassa 15. Heat Pipe tyhjiöputkikeräin. (Kylpyhuonemarket 2010)



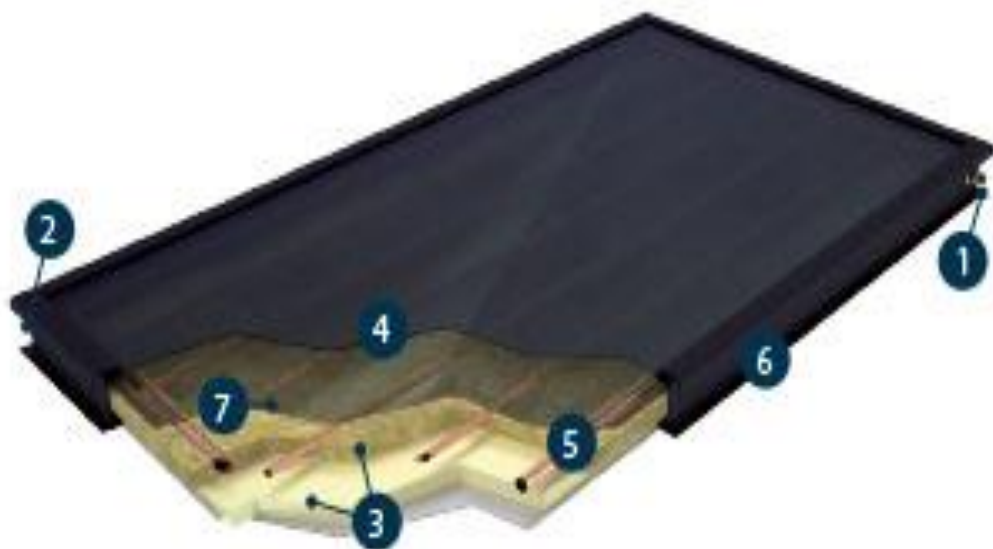
Kuva 15. Heat Pipe tyhjiöputkikeräin. (Kylpyhuonemarket 2010)

#### 4.3 Tasokeräin

Tasokeräin on perinteinen aurinkokeräinmalli. Se on rakennettu eristettyyn säänkestävään laatikkoon. Laatikossa on absorboiva tumma keräinpinta, jonka päällä on kantena yksi tai useampi läpinäkyvä lasi. Absorboivan levyn alla on putket, joissa kiertää lämmönsiirtoneste. Lämmönsiirtonesteen kulkiessa putkissa absorboivasta levystä siirtyy lämpö putkistoon ja siitä nesteeseen. Kuvassa 16. Tasokeräimen rakenne. (Energiaa- auringosta, Tasokeräimet 2010)

Keruuputkisto on tasokeräimissä yleensä kupariputkisto, joka on yleensä vaakatasossa. Tasokeräimellä voidaan saavuttaa hyötysuhde 35- 75 prosentin väliltä. Virtauksen ja häviötön lämpötila on noin 170-180 asteen luokkaa. (Aurinkopuisto, Tietoa aurinkokeräimistä 2016)





Kuva 16. Esimerkkikuva Heatcon tasokeräimen rakenteesta Heatcon www-sivuilta.

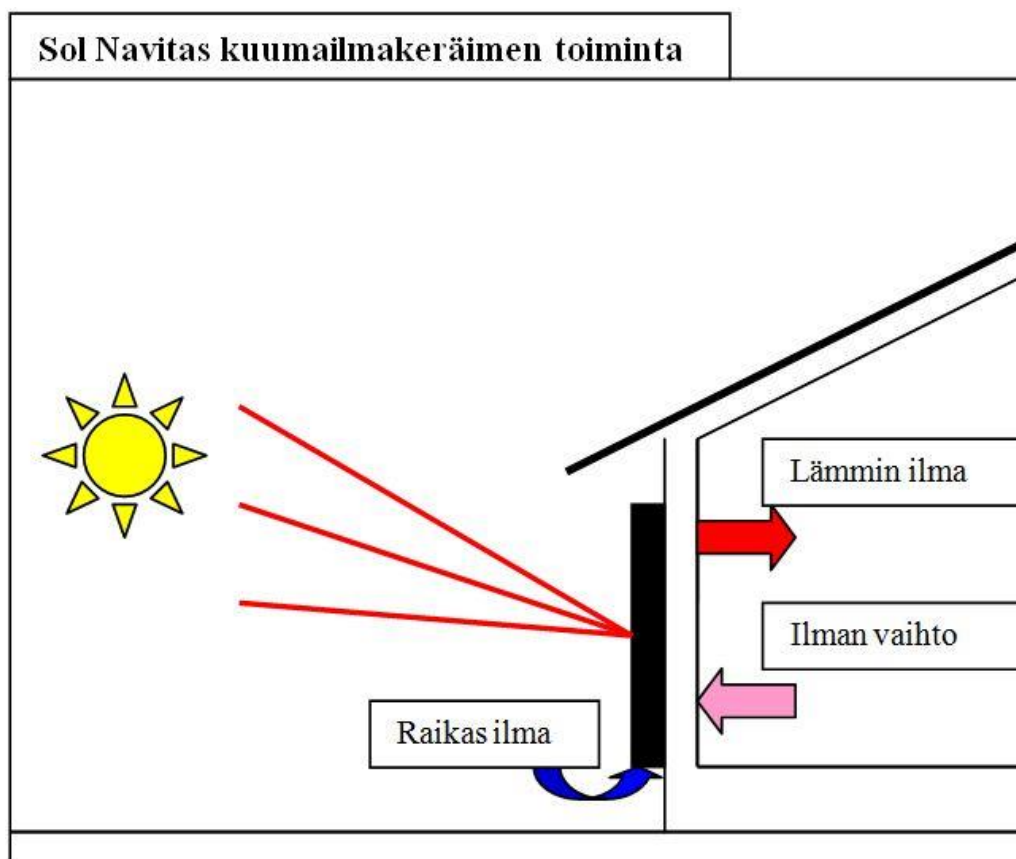
1. ”Lämmönsiirtonesteen paluuputki
2. Lämmönsiirtonesteen tuloputki
3. Eristeet; alapinnalla 20mm uretaania, yläpinnalla kivivillaa
4. Turvalasi 3mm
5. Keräinputkisto
6. Runkorakenne, eloksoitu alumiiniprofiili
7. Heijastinpinta (absorptiolevy)”

(Heatco 2015)

#### 4.4 Kuumailmakeräin

Kuumailmakeräin on aurinkokeräin, jossa ilma toimii lämmönsiirtoaineena. Yleisesti kuumailmakeräimet koostuvat metallisesta kaukalosta, johon on asennettu lämmönkeräinelementit. Lämmönkeräinelementit luovuttavat auringosta saatua lämpöenergiaa alla virtaavaan ilmaan. Turvalasilevy on yläpinnassa suojaamassa ympäristövaikutuksilta, esimerkiksi vedeltä, lumelta ja rakeilta. Kuumailmakeräimet pystyvät tuottamaan 50- 70 prosentin hyötysuhteen lämmönsiirrossa. Kuumailmakeräimet asennetaan paikkaan, jossa ne saavat mahdollisimman paljon auringonvaloa. Sopivimpana paikkana asennukselle pidetään kattoa, mutta esimerkiksi Suomessa seinäasennus on hyvä vaihtoehto, koska keräin pystyy hyödyntämään talvisin matalalla olevan aurin-

gon säteilyn. Kuvassa 17. Sol Navitas kuumailmakeräimen toiminta. (Aurinkopuisto, Tietoa aurinkokeräimistä 2016)



Kuva 17. Sol Navitas kuumailmakeräimen toiminta (Aurinkopuisto, Sol Navitas 2016)

## 5 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa tulee huomioon ottaa ainakin seuraavia asioita:

- Järjestelmään sijoitettava budjetti
- Minkä tyyppinen ja minkä kokoinen järjestelmä hankitaan
- Mitä lakeja, asetuksia ja standardeja on
- Järjestelmän mitoittaminen (Mahdollisimman vähäinen hukkaenergia), käytät mitä suurin piirtein saat tuotettua.
  - Ostosähkön hinta
  - Kesäpäivän kulutus (Esimerkiksi meneekö kaikki kerätty)?
  - Aurinkopaneelien sijoittaminen
  - Varjostuksien minimointi jne.
  - Ylijäämän minimoiminen ja myynti
- Takaisinmaksuaika (Takuu tuotto 80% 25v)

### 5.1 Järjestelmän valinta

Tilaajan toiveen mukaan tässä kappaleessa käsitellään 6 kW aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa huomioitavia seikkoja. Osasyys valintaan vaikutti se, että järjestelmän teho on 6 kW, se on kolmivaiheinen ja verkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä.

6kW aurinkosähköjärjestelmän arvonlisäveroton hinta on noin 7000 euron luokkaa ja tämän päälle asennuskustannukset nostavat hintaa. On myös mahdollista valita kuluttajalle hyvin helppo tapa, avaimet käteen periaate, jossa hinta on korkeampi. Korkeampi hinta johtuu siitä, että aurinkosähköjärjestelmä luovutetaan asiakkaalle käyttövalmiiksi asennettuna.

Aurinkosähköjärjestelmän 6 kW teho tarkoittaa käytännössä saavuttamatonta nimellistehoa, jonka järjestelmä pystyy nimellisesti tuottamaan. Tehon tuotto jää häviöistä johtuen alle 6 kW nimellistehonsa. (Motivan [www-sivut](#) 2014)

Aurinkosähköjärjestelmän koon valintaan voi myös vaikuttaa käytössä olevien asennustilojen ja -paikkojen mahdollinen hyödyntäminen sekä joissain tapauksissa rakennusluvut. Perusteltuna lähtökohtana aurinkosähköjärjestelmän koon valinnassa kannattaa pitää sitä, että tuotoista mahdollisimman suuri osa pystyttäisiin hyödyntämään itse ja myytäväksi sähköverkkoon jäisi mahdollisimman vähän. Yleensä tällainen tulee taloudellisesti edullisimmaksi. (Motivan www-sivut 2014)

6 kW:n Aurinkosähköjärjestelmä tarvitsee noin 40m<sup>2</sup> vapaata kattotilaa. Järjestelmän komponentteina valmistajista riippuen:

- 255-260Wp Aurinkopaneelit
- Kattoasennusmekaniikka (Asennustelineet)
- Kolmivaiheisen vaihtovirtainvertterin
- Asennuskaapelit
- Vaihtovirtapiirin katkaisimen (Turvakytkimen)
- Kaapelit pikaliittimin varustettuina

## 5.2 Lait, asetukset ja standardit

Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa ST- kortistoa voi hyödyntää ja etenkin ST-korttia 55.33, mikä käsittelee aurinkoenergiaa hyödyntäviä laitteita ja niiden liittämistä yleiseen sähköverkkoon. ST- kortista 55.33 löytyy lueteltuna yleisimmät standardit, lait ja määräykset, jotka ovat keskeisiä aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa.

”ST- kortti 55.33 mainitsevat lakiasetukset:

- Sähköturvallisuuslaki (410/1996 ja muutokset)
- Sähkömarkkinalaki (386/1995 ja muutokset)

ST- kortti 55.33 mainitsevat standardit:

- SFS-EN 50438. Tekniset vaatimukset yleisen pienjännitejakeluverkon kanssa rinnan toimiville mikrogeneraattoreille
- EN 60904-3. Photovoltaic devices. Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data

- EN 61215. Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules. Design qualification and type approval
- IEC 60755. General requirements for residual current operated protective devices
- SFS 6000-5-55. Muut sähkölaitteet
- SFS 6000-7-712. Aurinkosähköiset tehonsyöttöjärjestelmät
- SFS-EN 50160. Yleisen jakeluverkon jakelujännitteen ominaisuudet
- SFS-EN 61439. Jakokeskukset
- SFS-EN 62446. Sähköverkkoon kytketyt valosähköiset järjestelmät. Minimivaatimukset järjestelmän dokumentaatiolla, käyttöönottestaukselle ja tarkastuksille

ST- kortti 55.33 mainitsevat asetukset ja määräykset:

- Sähköturvallisuusasetus (498/1996 ja muutokset)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen turvallisuudesta (1193/1999)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalan töistä (516/1996 ja muutokset)
- Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta ja käytöstä (517/1996 ja muutokset) ”  
(ST 55.33 2013, 1)

SFS 6000-7-712-standardi on näistä edellä mainituista standardeista yksi oleellisimmista, koska se käsittelee valosähköisiä tehonsyöttöjärjestelmiä. Standardi määrää sen, että invertteri on varustettava erotuslaitteilla tasa- ja vaihtosähköosasta huolto- ja vikatilanteita varten. Vikavirtasuojaa ei tarvita, jos tasa- ja vaihtosähköosat ovat erotettavissa toisistaan, koska invertteri ei pysty syöttämään tasavikavirtaa asennuksiin. Standardi määrittää myös sen, että tasasähköosan paneelistokaapeleissa ja tasajännitekaapeleissa ei tarvita ylikuormitussuojaa, mikäli kaapelin jatkuva kuormitettavuus on 1,25-kertainen oikosulkuvirtaan nähden standardoiduissa testausolosuhteissa. (Forrström 2014, 35)

SFS-EN- 60439-1-standardissa on määritelty minkälaisia järjestelmän liitännäkotelon ja jakokeskuksen tulee olla. Liitännäkotelossa ja keskuksessa on oltava varoitustarra mahdollisesta aurinkosähköjärjestelmän syöttämästä takajännitteestä.

(Forrström 2014, 36)

SFS-EN 50160-standardi käsittelee jakeluverkon jännitteen laatua, josta olen kertonut enemmän kappaleessa 6. kytkeminen rakennuksen sähköjakelujärjestelmään.

(Forrström 2014, 37)

SFS-EN 62446-standardissa selviää minimivaatimukset dokumentoinnille, käyttöönottotestille ja tarkastuksille, liittyen sähköverkkoon kytkettyihin aurinkosähköjärjestelmiin. (Forrström 2014, 37)

Sähköturvallisuuslaki 1996/410 ja sähkömarkkinalaki 386/1995 koskevat aurinkosähköjärjestelmiä. Sähköturvallisuuslaki määrittää sähköturvallisuuden tason ja varmentamisen sekä sen, kuka on oikeutettu tekemään sähköalan töitä. Määräyksistä huomioitavia ovat Kauppa- ja teollisuusministeriön päätökset liittyen sähkölaitteistojen turvallisuuteen (1193/1999), sähköalan työt (516/1996) ja sähkölaitteistojen käyttöönottoon ja käyttöön (517/1996) liittyvät määräykset. (Forrström 2014, 37)

### 5.3 Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen

Sähköenergian kulutusta Suomessa mitataan lähes poikkeuksetta tuntitasolla kulu-  
tuspaikoissa. Valmiiksi olemassa olevien kohteiden mittaustiedot auttavat enimmäis-  
tuottotarvetta suunniteltaessa. Jo yhdenkin vuoden mittaustietojen avulla pystytään  
selvittämään melko hyvin kohteen vähimmäiskulutus (pohjakulutus).

Vähimmäiskulutus on energiamäärä, minkä kohde kuluttaa jokaisena tuntina, kun  
aurinkosähköä on mahdollista tuottaa. Mitoituksessa ei tarvitse ottaa huomioon yö-  
ajan pohjakulutusta, koska yöaikana ei aurinkosähköjärjestelmä tuota mitään.

Suunniteltaessa aurinkosähköjärjestelmää uudisrakennuksiin on ainoa tapa ottaa läh-  
tökohdaksi vastaavan tyyppisen rakennuksen käyttöprofiili sekä uudisrakennuksen  
sähkökäyttöisten laitteiden varustelutaso ja energiankulutus.

Sähkönkulutus ja – tuotanto vaihtelevat paljon eri vuorokauden- ja vuodenaikoina. Esimerkiksi pienin hetkittäinen kulutus voi olla nolla tai hyvin lähellä sitä samoin kuin sähköntuotanto. (Motivan www-sivut 2014)

Aurinkosähköjärjestelmää mitoittaessa paneelien yhteenlaskettu nimellisteho riippuu suurimmaksi osaksi siitä, mihin halutaan pyrkiä. Mikäli halutaan pyrkiä mahdollisimman lyhyeen takaisinmaksuaikaan, paneelien yhteenlasketun nimellistehon on oltava käytännössä enintään yhtä suuri kuin pienin jatkuva sähkötehon tarve päiväsaikaan. Todennäköisesti helpoin tapa aurinkosähkön vuosituoton arviointiin kohteessa on käyttää verkosta löytyvää PVGIS- ohjelmistoa. Tämän ohjelman avulla voi verrata vaikkapa vuosituottoa erilaisilla asennuskulmilla ja paneelien suuntauksilla.

#### 5.4 Aurinkosähköjärjestelmän sijoittaminen

Markkinoilla on saatavissa valmiita aurinkopaneelipaketteja, jotka sopivat pelti- ja tiilikatoille (kuva 11). Ne soveltuvat sekä uudis- että korjausrakentamiseen. Paneelit asennetaan useimmiten katon lappeen kanssa samaan ilmansuuntaan ja kallistuskulmaan. Tasakatoilla apuna käytetään erillisiä telineitä. Niiden asennuksessa voidaan vapaasti valita ilmansuunta ja kallistuskulma. (Motivan www-sivut 2014)

Katto on hyvä sijoituspaikka aurinkopaneeleille, koska katolla on vähemmän varjostuksia kuin esimerkiksi maan pinnalla. Katolla paneelit eivät ole tiellä eivätkä vie tilaa muulta käytöltä. Aurinkopaneelien alla oleva tila katolla pysyy suojassa ja viileänä. Tämä on huomattu esimerkiksi rintamamiestalojen yläkerroissa, joissa asuinhuoneet ja asumattomat ullakot ovat olleet kuumia kesähelteillä ennen paneelien asennusta. Peltikatoilla aurinkopaneelit myös vähentävät katon aiheuttamaa äänihaittaa. (Aurinkovirran www- sivut)

Maassa käytettävät telineet ovat samanlaisia kuin tasakatoilla käytettävät. Maahan asennettuja aurinkopaneeleja käytetään lähinnä suurille järjestelmille. Maahan asennettuina ne voidaan tarvittaessa aidata ja niitä voidaan vartioida. Maa-asennuksien ongelmakohta on varjostukset (Kuva 18.). Niitä syntyy herkemmin kuin kattoasennuksissa ja niihin tulee kiinnittää erityistä huomiota. (Motivan www-sivut 2014)

Eri asennuspaikkoja vertaillessa on kiinnitettävä huomiota siihen, mitä sähköasennusten toteuttaminen vaatii. Kaapelien on oltava mahdollisimman lyhyet aurinkopaneelilta inverttereille. Invertterille on löydettävä sopiva sijoituspaikka ja matka sen luota sähkökeskukselle ei tule olla kovin pitkä. (Aurinkovirran [www](#)- sivut)



Kuva 18. Aurinkopaneelit asennettuna maahan. (Aurinkovirran [www](#)- sivut)

Jos aurinkopaneelit asennetaan esimerkiksi suurien kiinteistöjen seinille tai katolle, voidaan niitä käyttää visuaalisesti hyväksi. Aurinkopaneelien asettelu voidaan suunnitella visuaalisesti sopivaksi osaksi rakennuksen arkkitehtuuria. Paneeleilla voidaan korvata myös kalliita julkisivumateriaaleja. (Motivan [www](#)-sivut 2014)

Seinää ei yleensä ole käytetty aurinkopaneelien sijoituspaikkana, mutta eteläseinää voi harkita sijoituspaikkavaihtoehtona (Aurinkovirran [www](#)- sivut).

Seinään asennettuna paneelit voivat muodostaa myös halutun aurinkovarjon kesällä ikkunoille kuten kuvassa 19. (Ahjoenergia 2016).





Kuva 19. Seinään asennetut aurinkopaneelit (Vaisala Oyj:n pääkonttori Vantaalla). (Ahjoenergia 2016)

### 5.5 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa hyvin monet asiat, minkä takia takaisinmaksuajan määrittäminen tarkasti on hyvin hankalaa. Takaisinmaksuajan laskeminen on hankalaa siksi, että emme voi esimerkiksi ennustaa sähkönhinnan kehitystä seuraavien vuosien aikana, vaikka hyvin todennäköisesti hinta nousee.

Esimerkki takaisinmaksuajan laskemisesta 6000 W järjestelmällä karkeasti:

- Laitteistoin arvolisäveroton hinta noin 7000 €
- Kattokiinnikkeiden asentaminen noin 1000€
- Arvolisäverollinen hinta 8000 euroa x 1,24 = noin 10000 €

6000 Watin järjestelmä tuottaa vuositasolla noin 5100 kWh. Kuvitellaan sähkönhinnan tällä hetkellä olevan noin 0.15 €/kWh. Vuotuinen energia 5100 kWh maksaisi tällöin:

$$5100 \text{ kWh} \times 0,15\text{€} = 765\text{€}$$

Edellä olevan laskun perusteella saataisiin viitteellinen säästö energiakustannuksissa 765€ vuodessa.

Takaisinmaksuaika saadaan jakamalla järjestelmän hinta vuotuisilla säästöillä:

$$\frac{10000\text{€}}{765\text{€}} = 13,07$$

→ Edellä mainittu järjestelmä maksaisi siis itsensä takaisin hieman yli 13 vuodessa.

Aurinkosähköjärjestelmien takaisinmaksuajat ovat melko korkeita siitä syystä, että järjestelmien hinnat ovat melko korkeita. Kun tekniikka kehittyy ja järjestelmät yleistyvät, tulevat myös todennäköisemmin takaisinmaksuajatkin lyhenemään. Yleisesti aurinkosähköjärjestelmien takaisinmaksuajat pyörivät 15 vuodesta ylöspäin.

Taulukossa 1. esimerkki takaisinmaksuajan laskemisesta 6000 W järjestelmällä ottaen huomion tehontuoton heikkenemisen ja sähkönhinnan 0,15€/kWh, kun aurinkosähköjärjestelmän hinta on sama kuin edellä:

Järjestelmän tehontuotto	VUODET	OLETETTU VUOSITUOTTO kWh/v	SÄÄSTETTY SUMMA €
100 %	1–5	5100	3825
95 %	6–10	4845	3633,75
90 %	11–15	4590	3442,5
85 %	16–20	4335	3251,25
80 %	21–25	4080	3060
75 %	26–30	3825	2868,75
KOKONAISÄÄSTÖ (€)			20081,25
VUOTUINEN ka. (€)			669,375
Takaisinmaksuaika (vuotta)			14,93930906

Taulukko 1. Esimerkki takaisinmaksuajan laskemisesta.

Tässä tapauksessa takaisinmaksu tapahtuisi vuotuista keskiarvoa käyttämällä seuraavasti:

$$\frac{10000\text{€}}{669,375\text{€}} = 14,9 \text{ vuotta}$$

→ Takaisinmaksu tapahtuisi 15 vuodessa jakamalla karkea alkuinvestointihinta vuotuisella säästön keskiarvolla.

Esimerkiksi Finsolarin verkkosivuilta löytyy hyvä Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri, joka on excel- pohjainen ja sen käyttäminen on hyvin yksinkertaista.

## 6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN LIITTÄMINEN SÄHKÖVERKKOON

Aurinkosähköjärjestelmän sähköverkkoon liittämistä varten tulee ottaa huomioon muutamia seikkoja niin sähköverkon kuluttajan kuin sähköverkonhaltijan kannalta. Tämän opinnäytetyön mukainen suunniteltu 6kW aurinkosähköjärjestelmä katsotaan mikrotuotantolaitokseksi. Alle 50 kilovolttiampeerin (kVA) laitokset ovat mikrotuotantolaitoksia. Mikrotuotantolaitoksen ensisijainen tarkoitus on tuottaa kuluttajan omiin tarpeisiin sähköä. Ne voivat myös olla yhdistettyinä sähköjakeluverkkoon.

Pientuotantolaitoksen yleiseen jakeluverkkoon liittämisen ehdot on määritelty SFS 6000 – standardin kohdassa 551.7. Lisäksi Energiategollisuus ry ja Motiva ovat laatineet aiheesta lisäohjeistuksia. (Sähköala 2014)

Sähkömarkkinalaki (SmL) asettaa aurinkosähköjärjestelmän verkkoon liittännälle seuraavia määräyksiä:

- ”Sähkömarkkinalain muutoksen perusteella alle 2 MVA tuotantolaitoksilta voidaan periä liittymismaksuina vain ne kustannukset, jotka aiheutuvat ainoastaan kyseistä laitosta syöttävän verkon rakentamisesta. Verkonhaltija vastaa muun verkon vahvistamisesta aiheutuvista kuluista.” (SmL 3§ ja 14b §)

- ”Siirtomaksujen osalta on voimassa asetus, jonka mukaan jakeluverkkoon liittyvältä tuotannolta voidaan periä siirtomaksuina enintään 0,07 snt/kWh vuositasolla. Siirtomaksukatolle ei ole asetettu tehoon perustuvaa rajausta.”

(SmL 14b § ja VNA sähköntuotannon siirtomaksuista sähkönjakeluverkoissa 691/2007)

- ”Verkonhaltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää sähköverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkökäyttöpaikat ja voimalaitokset toiminta-alueellaan. Liittämistä koskevien ehtojen ja teknisten vaatimusten tulee olla tasapuolisia sekä syrjimättömiä, ja niissä on otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuus ja tehokkuus.

Verkonhaltijan tulee julkaista liittämistä koskevat tekniset vaatimukset sekä kohtuullinen aika, jonka kuluessa verkkonhaltija käsittelee liittymistä koskevat tarjouspyynnöt.

Verkonhaltijan tulee antaa liittyjälle tämän pyynnöstä kattava ja riittävän yksityiskohtainen arvio liittymiskustannuksista sekä arvio liittymän toimitusajasta.”

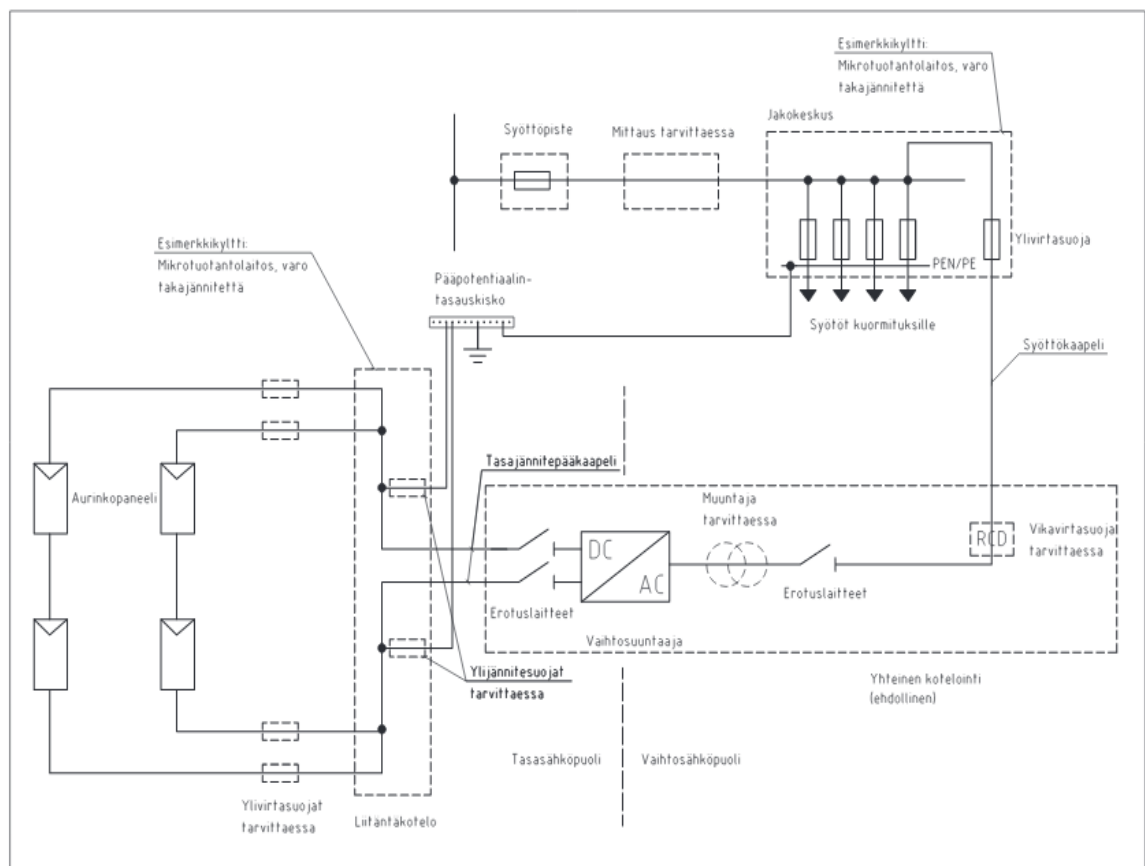
(SmL 20§) Liittämisvelvollisuus

(Sähkömarkkinalaki 588/2013)

Jos pientuotantolaitos (< 2MVA) toimii rinnan yleisen sähkönjakeluverkon kanssa, tulee se varustaa automaattisilla suojalaitteilla. Suojalaitteet kytkevät laitteiston irti sähköverkosta, jos verkkosyöttö katkeaa tai jos tuotantolaitoksen jännite tai taajuus poikkeaa sähköverkon normaaleista arvoista. Suojalaitteiston tulee myös estää pientuotantolaitoksen kytkeytyminen sähköverkkoon, jos sähköverkko on jännitteetön. Kuvassa 20. Aurinkosähköjärjestelmän kytkeminen rakennuksen sähköverkkoon.

(Sähköala 2014)

Automaattisten suojalaitteiden ohella sähköverkkoon liitettävä pientuotantolaitos pitää varustaa laitteilla, jotka voivat erottaa sen yleisestä jakeluverkosta. Näiden laitteiden on oltava jatkuvasti jakeluverkon haltijan käytettävissä ja niiden sijainnin on oltava merkitty verkkokarttoihin. (Sähköala 2014)



Kuva 20. Aurinkosähköjärjestelmän kytkeminen rakennuksen sähköverkkoon (ST 55.33 2013, 5)

## 6.1 Luvat, asiakirjat ja sopimukset

Aurinkosähköjärjestelmän sähköverkkoon liittämistä suunniteltaessa tulee paikalliselta sähköverkkoyhtiöltä tarkistaa tuotantolaitoksen verkkoon liittämistä koskevat velvoitteet ja ohjeet. Tuotantolaitoksen sähköverkkoliitännän ja sähköisten ominaisuuksien tulee täyttää sähköturvallisuusstandardien sekä sähkömagneettisten yhteensopivuusstandardien vaatimukset. Standardit täyttävillä laitteilla varmistetaan, että sähköverkossa työskentelevät asentajat eivät joudu hengenvaaraan ja se, että sähköverkon jännitteen laatu pysyy tarpeeksi hyvänä tuottajalle ja muille sähköverkonkäyttäjille. Vain sähköalan ammattilainen saa tehdä tuotantolaitoksen asennustyöt.

Ennen pientuotantolaitoksen sähköjakeluverkkoon liittämistä tulee kuluttajan tehdä sopimus verkonhaltijan ja sähköntoimittajan kanssa. Verkonhaltija ei voi lain mu-

kaan ostaa sähköverkkoon syötettyä ylimääräistä sähköä. Kuluttajan on tehtävä ylijäämänsähkön myynnistä erillinen sopimus sähköä myyvän tahon kanssa. Useimmiten sopimus kannattaa tehdä sen yrityksen kanssa, mistä ostaa sähkön. (Sähköala.2014)

Mikäli kaikkea itse tuotettua sähköä ei kuluteta kohteessa, voidaan verkonhaltijan ja tuottajan välillä tehdä sopimus verkkoon syötöstä. Tuottajan on mahdollista myydä ylijäämänsähkö yleiseen sähköverkkoon sähkömarkkinoille yleisin menettelytavooin. Verkkoyhtiö ei kuitenkaan osallistu sähkökauppaan eli verkkoyhtiö ei osta verkkoon siirtyvää ylijäämänsähköä. (Energiateollisuus, Hajautettu pientuotanto)

Aurinkosähköjärjestelmän rakentamisessa tai liittämisessä sähköverkkoon voi joutua pyytämään rakennus- tai toimeenpideluvan kunnalta. Edellä mainitut luvat eivät aina ole pakollisia, vaan ennemminkin tapauskohtaisia.

Rakennus- tai toimeenpideluvan ohella suunnitellusta aurinkosähköjärjestelmästä pitää toimittaa vaaditut asiakirjat sähkölaitokselle. Tällaisia asiakirjoja ovat esimerkiksi tekniset asiakirjat sekä sähkölaitoksen omat vaatimukset sähköturvallisuuden ja sähkömarkkinalain osalta. LIITE 1 Mikrotuotantolaitteiston yleistietolomake. (Lappalainen 2014, 33)

Seuraavat tiedot ovat välttämättömät jakeluverkkoyhtiön kannalta:

- Mikrotuotantolaitoksen tyyppi, nimellisteho ja -virta
- Liitäntälaitteen eli vaihtosuuntaajan tyyppitiedot
- Suojauksen asetteluarvot ja toiminta-ajat
- Tiedot saarekekäytön estosuojauksen toteutuksesta (menetelmä ja toiminta-aika)
- Tuotantolaitoksen irrottamiseen käytettävä erotin ja sen sijainti sähköverkossa.

Kun tuotantolaitos on kytketty sähköverkkoon, tuottajan on toimitettava verkonhaltijalle asianmukainen käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Mikäli laitos on yksivaiheinen, tulee käydä ilmi mille vaiheelle se on liitetty. LIITE 2. Aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottopöytäkirja.

Tuotantolaitosta voi käyttää vasta sitten, kun käyttöönottotarkastuspöytäkirja on toimitettu verkonhaltijalle ja verkonhaltija on antanut luvan laitoksen käyttöönottamiselle. (Energiateollisuus, Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon 2011)

## 6.2 Mittaus

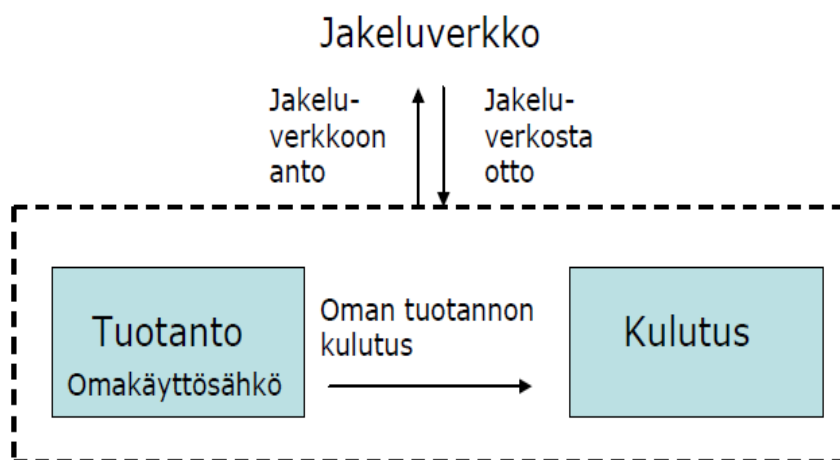
Lainsäädäntö mittauksesta ja mittauskäytännöistä on erilainen eri kohteissa riippuen kohteen koosta ja siitä, myydäänkö ylijäämäsähköä markkinoille.

Kohde, josta verkkoon syötettävää ylijäämäsähköä ei myydä markkinoille, voidaan rinnastaa puhtaaseen sähkön kulutuspaikkaan. Lainsäädäntö ei tunne tilannetta, missä verkkoon syötetty sähkö ei mene myyntiin markkinoille. Tällaisissa kohteissa voi käyttää perinteistä pyörivää mittaria, joka mittaa vain kulutuksen eli yksisuuntaista mittaria. Tuntimittauslaitteistoa suositellaan käytettäväksi myös tällaisessa kohteessa, vaikkei sellaista vaadita. Jos tämän kaltaisessa kohteessa halutaan tehdä myöhemmin päätös ylijäämäsähkön myymisestä markkinoille, tulee tuntimittauslaitteisto vaihtaa joka tapauksessa. (Oulunenergia. 2014)

Kohteissa, joissa on enintään 3x 63A pääsulakkeet ja joista sähköä myydään markkinoille, tulee etäluettavan sähkömittarin mitata sähköntuotantoa tunneittain. Kaikki tuotantokohteet, joista sähköä siirtyy yleiseen jakeluverkkoon, on pitänyt varustaa tuntimittauksella viimeistään 2010 vuoden loppuun mennessä. Uudet tuotantokohteet tulee aina varustaa tuntimittauksella. Kun pientuotantopaikassa on sähköntuotantoa ja -kulutusta, voi niitä mitata yhdellä mittarilla. Enimmillään 3x 63A pääsulakkeilla varustetun käyttöpaikan sähköntuotantolaitos ei vaadi omaa mittalaitetta. Siihen riittää, että kohteessa mitataan erikseen sähköverkosta otettu ja siihen syötetty sähkö. Verkoston ottoa ja antoa ei saa laskea yhteen. Mittalaitteessa pitää olla erilliset rekisterit otetulle ja annetulle sähkölle. Kuvassa 21. (Oulunenergia. 2014)

Mikäli tuotantolaitos on sijoitettu yli 3x 63A käyttöpaikalle, ei siinä voi mitata tuotantoa ja kulutusta samalla mittarilla. Käyttöpaikassa, jossa on verkosta ottoa ja antoa, tulee mitata verkosta oton ja verkkoon annon lisäksi myös oman tuotannon kulutus. Oman tuotannon kulutus muodostuu vähentämällä tuotetusta sähköstä tuotanto-

laitoksen omakäyttösähkö ja verkkoon syötetty sähkö. Tuotantolaitosjärjestelmän kuluttama sähkö on omakäyttösähkön määrä. (Oulunenergia. 2014)



Kuva 21. Katkoviiva kuvaa sähköliittymää, missä on tuotantoa ja kulutusta ja nuolet kuvaavat kulkevaa sähköenergiaa. (Energiateollisuus, Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon 2011)

### 6.3 Kustannukset

#### 6.3.1 Liittymiskustannukset

Sähkömarkkinalain (SmL 3§ ja 14b §) asetuksissa mainitaan, ettei mikrotuotantolaitoksilta voida periä liittymismaksuina muuta kuin verkon rakentamisesta johtuvat kustannukset. Mikäli tuotantolaitoksen liittäminen aiheuttaa tarvittavia suojausmuutoksia sähköverkkoon, joutuu asiakas vastaamaan näistä kuluista.

Mikäli kohteen sähkönkulutus (verkosta otto) on suurempaa kuin mitä kohteen tuotanto (verkkoon anto), tulee kohteelta periä normaalit käyttöpaikan liittymismaksut. Yleensä sama tilanne pätee myös pienimuotoiselle tuotannolle.

Mikäli kohteen sähkönkulutus (verkosta otto) taas on pienempää kuin tuotanto (verkkoon anto), arvioidaan pelkkää kulutusta varten vaadittavan liittymän koko ja peritään vastaavan kokoinen kulutuskohteen liittymismaksu. Ylittävältä osalta voidaan periä laskennallisen tuotannon liittymismaksun periaatteita vastaava osa. Määri-



telmä voi olla vaikkapa seuraavanlainen; suuruudeltaan tuotantoa vastaavan kokoisen liittymän asiakasta palvelevan verkon rakentamiskulut, joista on vähennetty asiakkaan käyttöä vastaavan liittymän rakentamiskulut palvelevan verkon osalta. (Oulunenergia. 2014)

### 6.3.2 Verkkopalvelumaksu

Sähkömarkkina- asetuksen mukaan pien- ja keskijänniteverkkoon liittyneeltä tuotannolta saa veloittaa verkkoon annosta enintään 0,07 c/ kWh tuotannon siirtomaksua. Tämän lisäksi mittauspalvelusta voi veloittaa sekä myös muista lisäpalveluista. Käytöstä veloitetaan normaalit käyttöä koskevat maksut. Yleensä oman tuotannon kulu- tuksesta peritään maksuja vain yli 1 MVA: n tuotantolaitoksilta. Maksu määritellään kantaverkkomaksujen määrittelyperiaatteiden mukaisesti. Kohteista, joista tuotantoa ei myydä sähkömarkkinoille, ei voida myöskään periä tuotannon siirtomaksua eikä maksua tuotannon mittauksista. (Oulunenergia. 2014)

### 6.3.3 Mittauskustannukset

Mikäli kohteeseen on vaihdettava uusi mittari mikrotuotannon takia, voi verkonhaltija laskuttaa kohteelta vain mittarin vaihdon aiheuttamat kustannukset eli kertaluonteisen mittarointimaksun. (Oulunenergia. 2014)

Mittarin maksaminen on verkonhaltijan tehtävä, koska mittari on verkonhaltijan omaisuutta. Kohteista, joissa on jo tuntimittari, verkonhaltija voi periä ohjelmointi- maksun eli kaksisuuntaisen mittausominaisuuden käyttöönottomaksun. Verkonhaltija voi laskuttaa myös jatkuvaa mittausmaksua, mikä voi olla erisuuri kuin kulutuskoh- teen mittausmaksu. Kohteista, joissa esiintyy sekä kulutusta että markkinoille myytävää tuotantoa, peritään mittausmaksua tai verkkopalvelun perusmaksu voi olla perus- tellusti hieman korkeampi kuin pelkän käyttökohteen. Verkkopalvelun perusmaksun korkeampi hinta selittyy kohteiden kaksinkertaistuneilla taseselvitetiedoilla. (Oulunenergia. 2014)

## 7 YHTEENVETO

Työn ensisijaisena tarkoituksena on auttaa mahdollisia asiakkaita valitsemaan ja ostamaan aurinkosähköjärjestelmä sekä antamaan tietoa asiakkaille aurinkosähköjärjestelmän hankkimiseen liittyvistä asioista. Työn on tarkoitus avata aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuuksia ja etenkin aurinkosähköjärjestelmän hankinnan ostopäätöstä helpottamaan.

Työn tavoitteena oli myös perehtyä erilaisiin mahdollisuuksiin aurinkoenergian hyödyntämisen parissa. Aurinkoenergian hyödyntäminen on Suomessa vielä melko vähäistä, koska järjestelmien hinnat ovat melko korkeita siihen nähden, mitä niiden ennakoidaan tulevaisuudessa olevan. Aurinkoenergian hyödyntäminen voisi olla huomattavasti suurempaa jos esimerkiksi valtio tulisi jollain tavalla vastaan aurinkosähköjärjestelmien hankinnassa tai tukemisessa.

6kW järjestelmän hinta on suoraan pyydetty aurinkosähköjärjestelmiä myyviltä taholta, kyseenomaisen hinnan pohjalta on myös tehty laskelmat takaisinmaksuajasta. Tällä hetkellä 1,5€/W pitää aika hyvin paikkansa vertailtaessa laitetoimittajien hintoja. Tietysti mitä pienempi järjestelmä sen suurempi hinta tulee Wattia kohden, kun taas suuremmalla järjestelmällä hinta Wattia kohden hieman vähenee. Aurinkoenergian hyödyntäminen tulee tulevaisuudessa lisääntymään valtavasti, koska järjestelmän komponenttien hinnat tulevat laskemaan kehityksen myötä.

Työtä tehdessä sain perehtyä mielenkiintoiseen aiheeseen ja toivottavasti pääsenkin tulevaisuudessa hyödyntämään tämän työn antamaa tietoa aurinkoenergiasta ja sen tarjoamista mahdollisuuksista. Työn aiheen arvoa nostaa vielä sekin, että sähkön hinnan noustessa on pakko alkaa myös miettimään vaihtoehtoisia ratkaisuja sähkön tai lämmön tuottamiseen. Aurinkoenergia oli minulle täysin uusi asia ja käytännössä lähdin perehtymään aiheeseen hyvin vähäisellä tietämyksellä, mutta tämän työn jälkeen tiedän huomattavasti enemmän aurinkoenergiasta ja kuinka sitä on mahdollista hyödyntää.

## LÄHTEET

- Aakko, J. & Ylikangas, M. 2013. Aurinkokeräimen suunnittelu ja valmistus. AMK-opinnäytetyö. Centria- ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.3.2016.  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56486/Mikko%20ja%20Jenni.pdf?sequence=1>
- Ahjoenergia. 2016. Aurinkopaneelien sijoitus ja asennus. Viitattu 05.2.2016.  
<http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/sijoitus-ja-asennus>
- Arevasolar. Aurinkopaneelit omakotitaloon. Viitattu 29.2.2016.  
<http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkopaneelit-omakotitaloon>
- Antennikauppa. 2013. Lataussäädin Steca PR 2020. Viitattu 26.2.2016.  
<http://www.antennikauppa.fi/index.php/lataussaadin-steca-pr-2020.html>
- Aurinkopuisto. 2016. Sol Navitas. Viitattu 20.3.2016.  
<http://aurinkopuisto.com/images/SolNavitastoiminta.jpg>
- Aurinkopuisto. 2016. Tietoa aurinkokeräimistä. Viitattu 07.3.2016.  
<http://www.aurinkopuisto.com/Tietoa-aurinkoker%C3%A4imist%C3%A4.php>
- Aurinkovirran www-sivut. Viitattu 27.2.2016.  
<http://aurinkovirta.fi>
- Batterystuff. Battery Basics: A Layman's Guide to Batteries. Viitattu 10.2.2016.  
<https://www.batterystuff.com/kb/articles/battery-articles/battery-basics.html#2>
- Batteryuniversity. 2016. How does the Lead Acid Battery Work. Viitattu 05.2.2016.  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/lead\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries)
- Energiaa- auringosta. 2010. Tasokeräimet. Viitattu 11.03.2016.  
<http://www.energia-auringosta.fi/tiedostot/tasokerain%20suomi.pdf>
- Energiaa- auringosta. 2010. U- Pipe tyhjiöputkikeräin. Viitattu 10.3.2016.  
<http://www.energia-auringosta.fi/tiedostot/u-pipetyhjioputki.pdf>
- Energiateollisuus. 2011. Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Viitattu 30.3.2016.  
[http://energia.fi/sites/default/files/ohje\\_tuotannon\\_liittamisesta\\_jakeluverkkoon\\_paivitetty\\_20160427.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/ohje_tuotannon_liittamisesta_jakeluverkkoon_paivitetty_20160427.pdf)
- Energiateollisuus. Pientuotanto. Viitattu 14.3.2016.  
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/pientuotanto>
- Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys ry- Soltekniska Föreningen rf.

Esala, M. 2011 Suljetun lyijyakun toiminnan peruskäsitteitä. Viitattu 20.2.2016.  
<http://www.kolumbus.fi/mikko.esala/slaominaisuudet.pdf>

Euroglobe. Akkutyypit. Viitattu 24.2.2016.  
<http://www.euroglobe.fi/akkuluettelo/akkutyypit/>

Eurosolar. 2008. Asentaminen. Viitattu 24.2.2016.  
<http://www.eurosolar.fi/asentaminen/>

Förström, H. 2014. Aurinkoenergiajärjestelmät ja aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. AMK opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 22.2.2016.  
[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71146/forsstrom\\_heidi.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/71146/forsstrom_heidi.pdf?sequence=1)

Heatco. 2015. Aurinkokeräimet. Viitattu 20.3.2016.  
<http://www.heatco.fi/tuotteet/lammitys/aurinkokeraimet/>

Humaliston sähkö. 2011. Naps säädinohje. Viitattu 25.2.2016.  
[http://www.sahko.fi/UserFiles/humalistonsahko/File/Asennusohjeet/naps\\_saadinohje.pdf](http://www.sahko.fi/UserFiles/humalistonsahko/File/Asennusohjeet/naps_saadinohje.pdf)

Ilmatieteenlaitos. Rakennus ja elinkaari, Viitattu 18.1.2016.  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/rakennus-ja-elinkaari>

JN- Solar. Lataussäätimet. Viitattu 25.2.2016.  
<http://www.jn-solar.fi/fi/8-lataussaatimet>

Korteniemi, J. 2001. Aurinko. Viitattu 18.1.2016.  
<http://www.oulu.fi/nrpif/planets/aurinko.html>

Kylpyhuonemarket. 2010. Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate. Viitattu 15.03.2016.  
<http://www.kylpyhuonemarket.fi/Aurinkoenergia/Aurinkopaneelit/Tyhioeputkikeraimen-toimitaperiaate>

Käpylehto, J. 2014. Mökille sähkö aurinkosta ja tuulesta. Helsinki: Into.

Laitinen, J. 2010. Pieni suuri energiakirja. Helsinki: Into.

Lappalainen, O. 2014. Verkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu opetuskäyttöön. AMK- opinnäytetyö. Savonia- Ammattikorkeakoulu. Viitattu 10.2.2016.  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74989/Lappalainen\\_Olli.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74989/Lappalainen_Olli.pdf?sequence=1)

Linden, R. 2002 Handbook of batteries. New York: McGraw-Hill.

Motivan www- sivut. 2016. Viitattu 24.2.2016.

<http://motiva.fi>

Oulunenergia. 2014. Mikrotuotannon liittäminen pienjakeluverkkoon. Viitattu 30.3.2016.

[https://www.ouluenergia.fi/sites/default/files/attachments/et\\_verkostosuositus\\_mikro\\_tuotannon\\_liittaminen\\_sahkonjakeluverkkoon.pdf](https://www.ouluenergia.fi/sites/default/files/attachments/et_verkostosuositus_mikro_tuotannon_liittaminen_sahkonjakeluverkkoon.pdf)

Oulun ammattikorkeakoulu. 2014. Tuurinko, Tuuli- ja aurinkosähköntuotannon op-  
pimisympäristö. Viitattu 02.2.2016.

<http://www.oamk.fi/cdn/fileuploads/asennusopas.pdf>

Pellettipojat. Akustot. Viitattu 24.2.2016.

<http://www.pellettipojat.fi/page27.php>

Ricaheating. 2013. Rica Solar UC58C U-putkikeräin. Viitattu 12.03.2016.

<http://www.ricaheating.fi/tuotteet/aurinkolammitys/rica-solar-uc58c-u-putkikerain>

ST 55.33. Aurinkoenergiaa hyödyntävät laitteet ja niiden liittäminen rakennuksen  
sähkönjakelujärjestelmään . 2013. Sähkötieto ry. Espoo: Sähköinfo. Viitattu  
29.1.2016.

<http://www.sahkoinfo.fi/severi>

Sundial. Aurinkolämpö - Rehellisesti puhdasta energiaa. Viitattu 07.3.2016.

<http://www.sundial.fi/aurinko.php?page=aurinko1>

Suntekno. 2012. Aurinkoenergia. Viitattu 24.1.2016.

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>

Suntekno. 2012. Aurinkopaneelit. Viitattu 24.1.2016.

<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Sähköala.2014. Pientuotantolaitos jakeluverkon rinnalle. Viitattu 10.3.2016.

[http://www.sahkoala.fi/koti/aurinkoenergia\\_ja\\_tuulivoima/fi\\_FI/Pientuotantolaitos\\_jakeluverkon\\_rinnalle/](http://www.sahkoala.fi/koti/aurinkoenergia_ja_tuulivoima/fi_FI/Pientuotantolaitos_jakeluverkon_rinnalle/)

Sähkömarkkinalaki. 2013. L 9.8 2013/588 muutoksineen. Viitattu 12.3.2016.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588#Pidp167360>

Tieteen kuvalehti. 2011. Aurinkopaneeli myötäilee auringon liikkeitä. Viitattu  
05.3.2016.

[http://tieku.fi/files/bonnier-ill/imagecache/std\\_3\\_2/pictures/soltag.jpg](http://tieku.fi/files/bonnier-ill/imagecache/std_3_2/pictures/soltag.jpg)

Utah education network. 2013. Earth and moon observations. Viitattu 25.1.2016.

<http://www.uen.org/Lessonplan/preview.cgi?LPid=32949>

Vaihdavirtaa. 2012. Aurinkosähkö. Viitattu 02.3.2016.

<http://www.vaihdavirtaa.net/page/show/id/aurinkosahko>

Energiateollisuus ry:n suosittelema yleistietolomake

## MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa verkkoyhtiölle tiedot nimellisteholtaan enintään 50 kVA tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle tai asiakas voi tarvittaessa täyttää lomakkeen myös itse. Sähköntuotannon aloittamiseen tulee tämän lomakkeen lähettämisen lisäksi saada erikseen lupa verkkoyhtiöltä.

### 1. YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitoksen omistaja	Sähköposti	Puhelinnumero
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Liittymän osoite (tuotantolaitoksen sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero (löytyy sähkönsiirtolaskulta)		
Yhteyshenkilö (jos muu kuin tuotantolaitoksen omistaja)	Sähköposti	Puhelinnumero

### 2. TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Tuotantomuoto	<input type="checkbox"/> Aurinko	<input type="checkbox"/> Tuuli	<input type="checkbox"/> Biokaasu	<input type="checkbox"/> Diesel	<input type="checkbox"/> Muu, mikä?
Verkkoonliitännälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) valmistaja	Verkkoonliitännälaitteiden (invertteri/vaihtosuuntaaja) määrä ja malli				
Tuotantolaitteiston nimellisteho	kVA/kW	Tuotantolaitteiston enimmäisvikavirta (laitoksen suurin mahdollinen virta)			A
Laitteiston kytkentä	<input type="checkbox"/> Kolmivaiheinen	<input type="checkbox"/> Yksivaiheinen, merkitse vaihe	<input type="checkbox"/> L1	<input type="checkbox"/> L2	<input type="checkbox"/> L3

### 3. TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDOT

#### 3.1. Tuotantolaitteiston suojaus (valitse YKSI seuraavista vaihtoehtoista)

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset, mukaan lukien verkkoonliitännälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) suojausasettelut ja irtikytketymsajat

<input type="checkbox"/> Energiateollisuus ry:n suositus 2011, tekninen liite 1	<input type="checkbox"/> Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset
<input type="checkbox"/> Saksalainen vaatimuskirje VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset)	<input type="checkbox"/> Jokin muu
<i>HUOM! VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä</i>	<i>HUOM! Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytyy myös lomakkeen kohta 7.</i>

#### 3.2. Tuotantolaitteiston erottaminen

<input type="checkbox"/> Vakuutan, että tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy (esim. talon ulkoseinällä, ei lukitussa tilassa)
Erotuskytkimen sijainti (esim. talon ulkoseinällä pääoven vieressä)
<input type="checkbox"/> Liittymän sähkökeskuksilla on varoituskyttilä takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtikytkemiselle

#### 4. TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN/URAKOITSIJAN TIEDOT

(tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkevä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

Urakoitsija toimittaa asiakkaalle laitteistoa koskevan käyttöönottotarkastuspöytäkirjan.

Käyttöönottotarkastuspöytäkirja on pyydettyäessä toimitettava verkonhaltijalle.

#### 5. LISÄTIEDOT

Lisätietoja
-------------

Verkkoyhtiöt voivat tämän lomakkeen lisäksi pyytää myös muita tarvitsemiaan tietoja tai lomakkeita laitteistosta ja sen liittämisestä. Lisätietoja saat verkkoyhtiöltäsi.

#### 6. ALLEKIRJOITUS

Vakuutan antamani tiedot oikeiksi	
Päivämäärä ja paikka	Allekirjoitus ja nimenselvennys

Lomakkeen voi allekirjoittaa tuotantolaitoksen omistaja tai hänen valtuuttamansa taho, kuten sähköurakoitsija

#### 7. Tuotantolaitteiston verkkoonliitännälaitteen suojausasettelut ja irtikytketymisajat

*HUOM! Täytä tämä osa vain, jos valitsit kohdassa 3. vaihtoehdon Jokin muu*

Verkkoonliitännälaitteen suojausasettelu noudattaa standardia:					
Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Parametri	Asetteluarvo	Toiminta-aika
Ylijännitesuojaus 1			Ylitaajuussuojaus 1		
Ylijännitesuojaus 2*			Ylitaajuussuojaus 2*		
Alijännitesuojaus 1			Alitaajuussuojaus 1		
Alijännitesuojaus 2*			Alitaajuussuojaus 2*		
* jos on					
Tuotantolaitteiston automaattinen tahdistumisaika verkkojännitteen palauduttua					s
Saarekekäytönestosuojauksen (Loss of Mains) toteutustapa ja toiminta-aika					
<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on CE-merkitty					



# AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUSPÖYTÄKIRJA

## PERUSTIEDOT

Sähkölaitteiston rakentaja	Yritys		
	Katuosoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Sähkölaitteiston rakentajan yhteyshenkilö	Nimi	Puhelinnumero	
	Sähköpostiosoite		
Sähkötöiden johtaja	Nimi	Puhelinnumero	
	Sähköpostiosoite		
Kohteen tiedot	Nimi	Työnumero	
	Kohteen yksilöinti		
	Katuosoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Tilaaja	Yritys		
	Katuosoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Tilaajan yhteyshenkilö	Nimi	Puhelinnumero	
	Sähköpostiosoite		

## 1 AISTINVARAINEN TARKASTUS

☐ Asennukset on aistinvaraisessa tarkastuksessa todettu vaatimusten mukaiseksi (ks. ohje)

## 2 TESTAUKSET (ks. testausohje)

Paneeliketju		1	2	3	4
Paneelisto	Moduuli				
	Lukumäärä				
Paneeliston parametrit (kuten määritelty)	Voc (stc)				
	Isc (stc)				
Paneeliketjun ylivirtasuojalaite	Tyyppi				
	Mitoitus (A)				
	DC-mitoitus (V)				
	Kapasiteetti (kA)				
Kaa pelointi	Tyyppi				
	Vaihe (mm <sup>2</sup> )				
	Maadoitus (mm <sup>2</sup> )				
Paneeliketju	Voc (V)				
	Isc (A)				
	Säteily				
Napaisuuden tarkistus					



Paneeliketju		1	2	3	4
Paneeliston eristysresistanssi	Testijännite (V)				
	Pos - Maa (MΩ)				
	Neg - Maa (MΩ)				
Maadoituksen jatkuvuus (jos käytetty)					
Kytkinlaitteisto toimii oikein					
Inverterin valmistaja/malli					
Inverterin sarjanumero					
Inverteri toimii oikein					
Pienjänniteverkon katkostesti					

**3 LISÄTIETOJA**

Lisätietoja:

**4 LAITTEISTO**☐

Laitteisto on standardisarjan SFS 6000 mukainen

**5 TARKASTUKSEN TEKIJÄ(T)**

Aika ja paikka	Aika ja paikka
Allekirjoitus ja nimen selvennys	Allekirjoitus ja nimen selvennys

**6 TILAAJAN TAI HÄNEN EDUSTAJANSA KUITTAUS**

Aika ja paikka	Allekirjoitus ja nimen selvennys
----------------	----------------------------------

# AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUS. PÖYTÄKIRJAN TÄYTTÖOHJE

ST 55.36

## Sähkölaitteiston rakentaja

Merkitään sen yrityksen tiedot, jonka nimissä tarkastuspöytäkirjasta ilmenevät sähköasennustyöt on tehty. Katuosoite-, postinumero- ja postitoimipaikkatiedoiksi merkitään yrityksen työtä hoitaneen kiinteän toimipisteen tiedot.

## Sähkölaitteiston rakentajan yhteyshenkilö

Merkitään sähkölaitteiston rakentajan yhteyshenkilönä työssä toimineen henkilön nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.

## Sähkötöiden johtaja

Sähkötöiden johtajan kohdalle merkitään työssä sähkötöiden johtajana toimineen henkilön nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.

## Kohteen tiedot

Työnumerona voidaan käyttää sähkölaitteiston rakentajan kohdekohtaista työ- tai projektinumeroa tai niiden yhdistelmää. Kirjoitetaan kohteen käyttötarkoitus ja nimi, esim. Asuinkerrostalo, As.Oy Sähkötele.

Kohteen nimessä ja yksilöinnissä käytetään tarvittavia lisätietoja, esim. onko kyseessä koko rakennus vai jokin sen osa. Tärkeää on, että rajausta tehdään riittävän tarkasti ja yksiselitteisesti vastualueen rajaamiseksi. Katuosoite ja postitoimipaikka kirjoitetaan rakentamisajankohdan mukaisena.

## Tilaava yritys

Merkitään sen yrityksen nimi, jonka nimissä tilaus on tehty. Katuosoite-, postitoimipaikka- ja puhelinnumerotiedoiksi merkitään tilaavan yrityksen toimipisteen tiedot.

## Tilaajan yhteyshenkilö

Merkitään tilaajan yhteyshenkilönä toimineen henkilön nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.

## 1 AISTINVARAINEN TARKASTUS

Jos kohde on tarkastettu ja kunnossa, riittää rasti asianomaiseen ruutuun. Havaitut puutteet merkitään erilliseen liitteeseen.

Tasasähköjärjestelmän asennusten aistinvaraiseen tarkastamiseen sisältyvät vähintäänkin seuraavat asiat:

- Tasasähköjärjestelmä on määritelty, suunniteltu ja asennettu standardisarjan SFS 6000 vaatimusten mukaisesti ja erityisesti standardin SFS 6000-7-712 vaatimusten mukaisesti.
- Kaikki tasasähköjärjestelmän komponentit on mitoitettu jatkuvaan tasasähkökäyttöön ja soveltuen suurimmalle mahdolliselle tasasähköjärjestelmän jännitteelle sekä suurimmalle mahdolliselle tasasähkövikaviralle (Voc stc korjataan paikallisen ympäristön lämpötila-alueen mukaiseksi perustuen paneelin tyyppiin ja virtaan  $1,25 \times I_{sc}$  stc standardin SFS 6000-7-712.433:2012 mukaisesti).

- Suojaus on toteutettu käyttäen luokan II sähkölaitteita tai vastaavaa eristystasoa tasasähköpuolella – kyllä/ ei (luokan II sähkölaitteita suositellaan – SFS 6000-7-712.412:2012).
- Valosähköisten paneeliketjujen kaapelit, paneelistojen kaapelit ja tasasähköjärjestelmän pääkaapelit on valittu ja asennettu siten, että oikosulkujen ja maadoitusvikojen riskit on minimoitu (SFS 6000-7-712.522.8.1:2012). Tyypillisesti tämä saavutetaan käyttämällä kaapeleita joissa on suojaava tai vahvennettu eristys (usein käytetään termiä "kaksoiseristys").
- Kaapelointi- ja johdinjärjestelmä on valittu ja asennettu kestämiin odotetut ulkoiset rasitukset, kuten tuuli, jään muodostuminen, lämpötila ja auringon säteily (SFS 6000-7-712.522.8.3:2012).
- Järjestelmissä, joissa ei ole peräkkäisiä ylivirtasuojalaitteita: tarkastetaan että paneelin mitoitettu takavirta ( $I_r$ ) on suurempi kuin järjestelmän suurin mahdollinen takavirta; tarkastetaan että paneeliketjun kaapelien koko vastaa rinnakkain kytkettyjen paneelien yhdistettyä maksimivikavirtaa (SFS 6000-7-712.433:2012).
- Järjestelmissä, joissa on peräkkäiset ylivirtasuojalaitteet: tarkastetaan että paneelin ylivirtasuojalaitteet on määritelty ja mitoitettu vastaamaan paikallisia olosuhteita tai että on noudatettu valmistajan ohjeita valosähköisten paneelien suojauksessa standardin SFS 6000-7-712.433.2:2012 huomautuksen mukaisesti.
- Tarkastetaan, että erotus- ja kytkentälaitte on mitoitettu vastaamaan tasasähköpuolen invertteriä (SFS 6000-7-712.537.2.2.5:2012).
- Jos estodiodit on mitoitettu, tarkastetaan että niiden mitoitettu estojännite on vähintäänkin  $2 \times V_{oc}$  stc vastaavaa valosähköisen paneeliketjun mitoitusta (SFS 6000-7-712.512.1.1:2012).
- Jos yksi tasasähköjärjestelmän johtimista kytketään maahan, tarkastetaan että käytössä on vähintään yksinkertainen erotus vaihtosähkö- ja tasasähköpuolten välillä ja että maadoitusliitäntä on toteutettu korroosiota välttämällä (SFS 6000-7-712.312.2:2012).

## Suojaus ylijännitteeltä ja sähköiskulta

Valosähköisten järjestelmien aistinvaraiseen tarkastamiseen sisältyy vähintäänkin seuraavat tarkastukset:

- Tyyppin B vikavirtasuojalaitteista on varmistettava, missä vikavirtasuojalaitte on asennettu valosähköisen järjestelmän invertteriin, ettei vaihtosähkö- ja tasasähköpuolten välillä ole yksinkertaistakaan erotusta standardin IEC 60755 mukaisesti (SFS 6000-7-712.411.02:2012 ja kuva 712.1).
- Ukonilman indusoimien jännitteiden minimoimiseksi on tarkastettava, että kaapeleiden ja johtimien pituudet on pidetty mahdollisimman lyhyinä (SFS 6000-7-712.444.4:2012).

- c) Missä käytetään paikallisia ohjeita, on tarkastettava että valosähköisen paneeliston rungon ja tai paneelin rungon suojamaadoitusjohdin on asennettu ja kytketty oikein maadoitukseen. Missä suojamaadoitusjohdin ja tai potentiaalintasausjohdin on asennettu, on tarkastettava, että ne ovat rinnakkain ja niputettu tasasähkökaapeleiden kanssa (SFS 6000-7-712.54:2012).

### Vaihtosähköjärjestelmä

Valosähköisten järjestelmien aistinvaraiseen tarkastamiseen sisältyvät vähintäänkin seuraavat tarkastukset:

- a) Keinot invertterin erottamiseksi on toteutettu vaihtosähköpuolella.
- b) Kaikki erottamis- ja kytkentälaitteet on liitetty siten, että valosähköisen järjestelmän asennus on kaapeloitu kuormituksen puolelle ja yleisen jakeluverkon puolelle (SFS 6000-7-712.537.2.2.1:2012).
- c) Invertterin käyttöparametrit on ohjelmoitu noudattaen paikallisia säädöksiä.

### Merkinnät ja tunnistaminen

Valosähköisten järjestelmien aistinvaraiseen tarkastamiseen sisältyvät vähintäänkin seuraavat tarkastukset:

- a) Kaikki virtapiirit, suojalaitteet, kytkimet ja liittimet on merkitty.
- b) Kaikki tasasähkökytkentärasiat (valosähköinen generaattori ja paneeliston sähköliitäntäkotelo) on merkittävä varoitusmerkinnällä, joka näyttää, että rasian sisällä olevia aktiivisia osia syötetään valosähköisestä paneelistosta ja että ne voivat olla jännitteisiä vaikka järjestelmän invertteri on erotettu sähköjakeluverkosta.
- c) Vaihtosähköpuolen erotuskytkin on selkeästi merkitty.
- d) Kaksoissyötön varoituskilvet on kiinnitetty liitäntäpisteisiin.
- e) Yksivivainen kaapelointi- ja johdotuskaavio on esitetty asennuskohteessa.
- f) Invertterin suojausasetukset ja asentajan tiedot on esitetty asennuskohteessa.
- g) Hätätapausälytyksen toimenpiteet on esitetty asennuskohteessa.
- h) Kaikki tunnuksot ja kilvet on kiinnitetty käyttöä kestäväällä tavalla.

## 2 TESTAUKSET

### Valosähköinen Voc-paneeliketju, avoimen piirin jännitteen mitta

Jokaisen valosähköisen paneeliketjun avoimen piirin jännite tulisi mitata käyttämällä soveltuvaa mittalaitetta. Tämä pitäisi tehdä ennen kuin yhtään kytkintä suljetaan tai ennen kuin paneeliketjuun asennetaan ylivirtasuojalaitteita (missä käytetty).

Mittaamalla saatuja arvoja pitäisi verrata odotettuihin arvoihin. Mitattujen arvoja vertaamisella odotettuihin arvoihin on tarkoituksena varmistaa, että asennukset on tehty oikein. Vertaamisen tarkoituksena ei ole tarkastaa moduulin tai paneeliketjun suorituskkyä.

Mittaus tehdään standardin SFS-EN 62 446 kohdan 5.4.4 mukaisesti.

### Valosähköinen Isc-paneeliketju, virran mitta

Kuten paneeliketjun avoimen piirin jännitteen mittauksessa, vastaavasti paneeliketjun virran mittauksessa on tarkoitus varmistaa, että paneeliketjun kaapeloinnissa ei ole merkittäviä vikoja. Näitä testejä ei ole tarkoitettu käytettäväksi valosähköisen moduulin tai paneeliketjun suorituskkyyn arviointiin.

On mahdollista käyttää kahta testimenetelmää ja molemmilla menetelmillä saadaan tietoa paneeliketjun suorituskkyvystä. Missä se on mahdollista, oikosulkutesti on suositeltavin, koska se poistaa kaikki inverttereiden mahdolliset vaikutukset.

Mittaus tehdään standardin SFS-EN 62 446 kohdan 5.4.5 mukaisesti.

### Napaisuuden testaus

Kaikkien tasasähkökaapeleiden napaisuus on tarkastettava käyttämällä sopivaa testilaitetta. Kun napaisuus on varmistettu, kaapelit tarkastetaan ja varmistetaan, että ne on tunnistettu oikein ja kytketty järjestelmän laitteisiin, kuten kytkentälaitteisiin tai inverttereihin.

Testaus tehdään standardin SFS-EN 62 446 kohdan 5.4.3 mukaisesti.

### Paneeliston eristysresistanssi

Toisin kuin tavanomaiset vaihtovirtapiirit, valosähköisen paneeliston tasasähköpiirit ovat aktiivisina päivänvalon aikaan eikä niitä voi erottaa ennen testien suorittamista.

Näiden testien suorittamiseen liittyy sähköiskun vaara ja siksi on tärkeää täydellisesti ymmärtää kokonaisuus ennen kuin työhön ryhdytään.

Vähintäänkin testit tulisi toistaa jokaiselle valosähköiselle paneelille. On oltava mahdollista testata myös yksittäiset paneeliketjut erikseen, jos niin vaaditaan. On mahdollista käyttää kahta testimenetelmää:

#### Testimenetelmä 1

Testataan paneelin negatiivisen kohdan ja maadoituksen välillä, jota seuraa testi paneeliston positiivisen kohdan ja maadoituksen välillä.

#### Testimenetelmä 2

Testataan maadoituksen ja oikosuljetun paneeliston positiivisen ja negatiivisen navan välillä.

Testauksen turvallisuus ja vaadittavat arvot, katso standardi SFS-EN 62 446, kohta 5.4.7.

### Maadoituksen jatkuvuus

Kun suojamaadoitusjohtimia tai potentiaalintasausjohtimia on kytketty tasasähköpuolelle paneeliston kehyksen potentiaalintasaamiseksi, kaikkien johtimien sähköinen jatkuvuus on testattava. Myös kytkennät päämaadoituskiskoon tulisi tarkastaa.

### Toimintakokeet

Seuraavat toiminnalliset testit on suoritettava:

- a) Kytkinlaitteet tai muut ohjauslaitteet on testattava, jolloin varmistetaan oikea toiminta ja se, että ne on asennettu ja kytketty oikein.
- b) Kaikki invertterit, jotka muodostavat osan valosähköisestä tehonsyöttöjärjestelmästä, on testattava, jotta varmistetaan järjestelmän oikea toiminta. Käytettävän

testimenetelmän tulisi olla invertterin valmistajan määrittelemä.

- c) Pienjänniteverkkosyötön katkeamisesta aiheutuvat toiminnot on testattava. Järjestelmän toimiessa päävaihtovirtaerotuslaite on avattava. Tulisi todeta (esim. näyttävä mittari), että valosähköinen järjestelmä lakkaa välittömästi tuottamasta energiaa. Tämän jälkeen vaihtovirtaerotuslaite tulisi sulkea ja tarkastaa, että järjestelmä toimii normaalisti.

### **3 LAITTEISTO**

Mikäli todetaan puutteita, ne kirjataan kohtaan "Lisätietoja" tai erilliseen liitteeseen.

### **4 TARKASTUKSEN TEKIJÄ**

Tarkastuksen tekijä allekirjoittaa pöytäkirjan.

### **5 TILAAJAN TAI HÄNEN EDUSTAJANSA KUITTAUS**

Tilaaaja allekirjoitukselleen vahvistaa ottaneensa vastaan pöytäkirjan.